

*Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas*

*Facultad de Ingeniería Mecánica  
Departamento de Ingeniería Mecánica*

# *Trabajo de Diploma*

*Título: Fundamentos para el diseño óptimo de moldes por  
inyección de plásticos.*

*Autor: Yunier Valdes Reinoso*

*Tutor: Ing. Alexis Alonso Martínez*

*Curso 2008 – 2009*

*“Año del 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución”*

*Pensamiento*

... el hombre crece tanto, que ya se sale de su mundo e influye en el otro. Por la fuerza de su conocimiento abarca la composición de lo invisible, y por la gloria de una vida de derecho llega a sus puertas seguro y dichoso...

José Martí

# *Dedicatoria*

- A mis padres, quienes siempre dieron lo mejor de sí para lograr de mi lo que hoy soy.
- A Yarima por permanecer siempre a mi lado, por su confianza y cariño.

# *Agradecimientos*

- Al Dr. Ortelio Boada quien fue mi tutor integral ya que me ayudó en mi formación como ingeniero.
- A Yudieski, Alexis y Maykel por brindarme su ayuda en el transcurso de estos cinco años.
- A Jorge, mi hermano, quien me guió por el buen camino.
- Al Dr. Jose Marty Delgado por su interés, dedicación confianza y mucha ayuda en la realización de este trabajo.

Y a todos que de una forma u otra, en algún momento de mi vida, contribuyeron a que hoy pudiera llegar hasta el fin de mi carrera.

A todos muchas gracias.

*Resumen*

**RESUMEN:**

El presente trabajo de diploma se desarrolla sobre los procesos de conformado, abordando el tema de los moldes, troqueles y estampas, para la inyección de plásticos. El mismo presenta una serie de principios y conocimientos básicos como las propiedades de los polímeros, aplicación y características, materiales que se usan para los moldes, sistemas de refrigeración, lubricación, temperatura, tiempo y presión, que son parámetros que se usan en los procesos de inyección de plásticos con el objetivo de desarrollar metodologías con la mayor información posible para la construcción de los distintos elementos del molde. Se hace mención a algunas recomendaciones de las dimensiones y tolerancias que determinan la calidad de los productos. Se hace mención a las principales máquinas que se emplean en los procesos de fabricación de los moldes en la inyección de plásticos y los softwares más utilizados para el diseño de los mismos.

# *Abstract*

**ABSTRACT:**

The present work is developed on the processes of having conformed, approaching the topic of the molds, dies and prints, for the injection of plastics. Presents one series of principles and basic knowledge as the properties of the polymers, application and characteristic, materials that are used for the molds, refrigeration systems, lubrication, temperature, time and pressure that are parameters that are used in the processes of injection of plastics with the objective of developing methodologies with the biggest information possible for the construction of the different elements of the molds. Mention is made some recommendations of the dimensions and tolerances that determine the quality of the products. Mention is made to the main machines that are used in the processes of production of the molds in the injection of plastics and the softwares what is used for the design of the same.

# *Índice*

**ÍNDICE:**

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: Caracterización del estado del arte en el diseño de herramientas para el conformado. ....	5
1.1 - Los procesos de elaboración de piezas por conformado como un sistema interactivo. ....	5
1.1.1 - Modelos desarrollados. ....	6
1.1.2 - Conceptos generales sobre logística aplicados a los procesos de elaboración de piezas por conformado. ....	11
1.2 - Herramientas básicas para los procesos de conformación. ....	12
1.3 - Procesos de manufactura para moldes de inyección por maquinado. ....	14
1.3.1 - Maquinaria utilizada para la producción de moldes. ....	15
1.3.2 - Uso de Sistemas CNC y CAM en el diseño y construcción de moldes. ....	17
1.4 - Requerimientos necesarios para un molde de inyección. ....	18
1.4.1 - Materiales para la construcción de moldes para inyección de plásticos. ....	19
1.5 - Métodos numéricos y computacionales en el diseño de herramientas para el conformado. ....	20
Conclusiones parciales. ....	22
CAPÍTULO II: El diseño de moldes como caso particular de herramientas para el conformado de piezas. ....	23
2.1 - Características generales de los distintos sistemas de moldes. ....	23
2.1.1 – Materiales no metálicos para moldes. ....	23
2.1.2 - Diferentes tipos de moldes. ....	27
2.2 - Diseño de los elementos constructivos. ....	28
Conclusiones parciales. ....	54
CAPÍTULO III: Softwares de aplicación y simulación para el diseño de moldes. ....	55
3.1 - Softwares de aplicación y simulación al diseño de moldes. ....	55
3.2 - Ejemplo de una pieza en SolidWork. ....	58
Conclusiones parciales. ....	63
CONCLUSIONES GENERALES. ....	64
RECOMENDACIONES .....	65
BIBLIOGRAFÍA .....	66
ANEXOS .....	68

# *Introducción*

**INTRODUCCIÓN:**

El siguiente trabajo se desarrolla sobre el diseño de las herramientas del conformado, específicamente para los moldes de inyección de plásticos. Donde se señala toda una serie de recomendaciones, características, principios básicos y funcionamientos de las herramientas y equipos con que se trabajan, además de los materiales que se emplean en los moldes.

Los polímeros abarcan materiales tan diversos como los plásticos, el caucho y los adhesivos, son moléculas orgánicas gigantes en cadena con pesos moleculares desde 10000 hasta 1000000 g/mol. La polimerización es el proceso mediante el cual las moléculas más pequeñas se unen para crear moléculas gigantes. Los polímeros se dividen en polímeros termoplásticos, polímeros termoestables, y los elastómeros. En este trabajo vamos a hacer énfasis en los polímeros plásticos, que son los más utilizados comercialmente.

Hasta finales del siglo XIX no aparecieron los primeros polímeros sintéticos, como por ejemplo el celuloide. El primer plástico sintético se fabricó en la década de 1860 debido a la búsqueda de materiales sintéticos que pudieran sustituir a los materiales como el marfil que comenzaba a escasear. Se quería obtener un material moldeable o extruible en fibras. Los primeros plásticos eran polímeros semisintéticos basados en celulosa modificada, un polímero natural derivado del algodón. Los plásticos completamente artificiales aparecieron años después con la invención de la baquelita. [1]

Alexander Parkes (1813 - 1890) inventó un material moldeable derivado del nitrato de celulosa. Disolvió fibras de algodón en ácido nítrico, añadió un plastificante como el alcanfor y evaporó el disolvente. El material se comercializó bajo el nombre de "parkesina" y se empleó en la fabricación de todo tipo de útiles domésticos. Parkes dio a conocer este material en Londres en 1862.

En 1870, John Wesley Hyatt (1837-1920) fabricó un sustituto del marfil que llamó "celuloide" porque era un derivado del nitrato de celulosa. El producto alcanzó un gran éxito y se empleó en la fabricación de bolas de billar y bolsos de noche en 1900. En 1890 se fabricó con "ebonita" una cerilla de color marrón oscuro, este material es un plástico derivado de la goma vulcanizada. Las películas de nitrato de celulosa para cinematógrafo salieron al mercado en 1887. Las correspondientes para fotografía nacieron un año después. El nitrato de celulosa es un material altamente inflamable y las películas actuales se fabrican en un material menos peligroso: el triacetato de celulosa.

Algunos plásticos se pueden extruir para convertirlos en fibras. Antiguamente los tejidos se fabricaban con materiales naturales. La celulosa regenerada derivada de una solución viscosa se descubrió en 1892. Este material se podía bombardear a través de agujeros muy finos en un ácido dando lugar a hilos artificiales con los que podía fabricar nuevos tejidos sintéticos.

Leo Baekeland (1863-1944) emigró a Estados Unidos donde estudio la reacción del fenol con el formaldehído. Los químicos habían descuidado esa masa viscosa y oscura porque se interesaban sobretodo por productos cristalinos. En 1907 Baekeland consiguió controlar la reacción de polimerización y creó el primer plástico sintético: "la baquelita".

En 1922, el químico alemán Hermann Staudinger comienza a estudiar los polímeros y en 1926 expone su hipótesis de que se trata de largas cadenas de unidades pequeñas unidas por enlaces covalentes. Propuso las fórmulas estructurales del poliestireno y del polioximetileno, tal como las conocemos actualmente, como cadenas moleculares gigantes, formadas por la asociación mediante enlace covalente de ciertos grupos atómicos llamados "unidades estructurales". Este concepto se convirtió en "fundamento" de la química macromolecular sólo a partir de 1930, cuando fue aceptado ampliamente. En 1953 recibió el Premio Nóbel de Química por su trabajo.

La Segunda Guerra Mundial contribuyó al avance en la investigación de polímeros. Por ejemplo, fue muy importante la sustitución del caucho natural por caucho sintético.

El primer termoplástico fue el cloruro de polivinilo (PVC), se descubrió en 1870 pero no se comercializó hasta 1930. Se trata de un material impermeable y resistente que se emplea para un gran número de productos: cuando es grueso es rígido y permite fabricar tubos, juguetes y raíles; cuando es fino es flexible y se utiliza para recubrir cables eléctricos, fabricar pañales y tapicerías.

Los plásticos poliacrílicos incluyen el perspex, un plástico de una transparencia excepcional. Su gran resistencia lo hace ideal para las ventanillas de los aviones.

El polietileno se descubrió en 1933 pero, al igual que muchos otros plásticos tardó varios años en ser comercializado con éxito. Se empleó mucho en la guerra en la construcción de grandes radares debido a sus propiedades aislantes. Los polietilenos rígidos no aparecieron hasta la década de 1950, conseguidos mediante el empleo de catalizadores.

Wallace H. Carothers (1896 - 1937) ingresó en DuPont en 1928. Utilizó dos productos químicos en solución (un ácido y una diamina) para crear el nylon 66. Al entrar en contacto las dos soluciones, se podían extruir fibras más resistentes que las naturales.[1]

En el mundo la gran tendencia es sustituir algunos artículos de metal y de vidrio por plástico debido a los bajos costos de producción. En la década de 1950 los plásticos habían alcanzado ya un gran desarrollo. Se empleaban en la industria y en la fabricación de todo tipo de objetos domésticos, uso de los automóviles, tuberías, embases, etc sobretodo los destinados a la cocina. El cloruro de polivinilo era muy resistente y se utilizaba para cubrir los suelos. La melamina de formaldehído era un plástico muy resistente al calor, al agua y a los detergentes; se descubrió en 1930. Este plástico laminado conjuntamente con capas de tejido o de papel da lugar a un material llamado "formica" que se emplea para cubrir diversas superficies de trabajo. [2]

En 1868 John Wesley Hyatt se volvió el primero en inyectar el celuloide caliente en un molde, produciendo bolas de billar. Él y su hermano Isaiah patentaron una máquina inyección que usó un embolo en 1872, cuando James Hendry construyó la primera máquina de molde de inyección por tornillo, fue cuando revolucionaba la industria de plásticos. Aproximadamente 95% de todas máquinas de inyección ahora usan los tornillos, eficazmente calor, mezclan, e inyectan plástico en los moldes.

Los materiales termoplásticos normalmente usados son los Poli estireno, ABS o Acrilonitrilo Butadieno Estireno, polipropileno, polietileno, y cloruro de polivinilo o PVC (más comúnmente usado para tuberías, ventana, o como aislamiento en alambres). El Epoxy, phenolic, nylon, polietileno, y polystyrene son materiales típicos usados en la inyección de molde. Epoxy y phenolic son ambos plásticos termoresistente, mientras los otros tres son los termoplásticos.

En nuestro país, en la región central principalmente en la industria el EIMPUD y la EMI "Comandante Che Guevara" se fabrican algunos de los artículos ya mencionado con polímeros como el ABS el cual se utiliza para máquinas de oficinas, piezas para elementos de la industria del automóvil, piezas de computadores, aparatos domésticos y de cocina. El PVC se emplea para accesorios y válvulas, juguetes, botas, zapatos y tuberías. También contamos con el PELD para recipientes domésticos, juguetes, flores artificiales recipientes de embase, frascos flexibles etc.

El policarbonato (PC) se utiliza para piezas de aislamiento y cobertura con gran tenacidad, en la industria eléctrica y de automóvil, aparatos esterilizados para el uso médico, cascos de seguridad, objetos con elevadas exigencias, para el uso de lentes ópticos, cajas, núcleos de bobinas y recubrimientos de cajas de comunicación. El polioxido de metileno (poliacetal) (POM) se aplica en la fabricación de piñones y ejes dentados que forman partes de los sistemas de giros de los ventiladores domésticos, componentes en la industria electrónica y piezas técnicas. El fenol formaldehído se aplica para la obtención de cabos de ollas, cabo de cafeteras, para brazos de sillones de ruedas y para las bases de los interruptores eléctricos.

Respectos a los moldes, los mismos han sido caros en la fabricación. Se construyen típicamente de acero endurecido, acero pre-endurecido, aluminio, y/o la aleación Cobre de Beryllium. La opción de material para construir un molde es principalmente la economía, los moldes de acero

generalmente son muy costosos pero su vida útil compensara su costo inicial. Los moldes de acero Pre-endurecidos son resistente y se usan para más bajo requisitos de volumen o los componentes más grandes. [3]

### **Idea inicial:**

Proponer una metodología para el diseño de los distintos elementos en los moldes por inyección de plástico.

### **Planteamiento del problema:**

Conocer los diferentes tipos de moldes, sus elementos constructivos, materiales empleados y características del mismo para establecer una secuencia de trabajo para el diseño óptimo de diferentes tipos de moldes.

### **Objetivo General:**

- Crear los fundamentos científicos - metodológicos para proponer una metodología para el diseño de los distintos elementos en los moldes por inyección de plástico.

### **Objetivos específicos:**

- Realizar un estudio bibliográfico sobre el empleo de los métodos numéricos y computacionales en el diseño de herramientas para el conformado con énfasis en moldes, así como los fundamentos de la logística aplicados a los procesos de manufactura.
- Identificar y describir algunos softwares de propósito general y específico, así como técnicas de inteligencia artificial para el diseño de herramientas para el conformado con énfasis en los diferentes tipos de moldes.
- Caracterizar el sistema de influencias (variables de entrada, variables intermedias, variables de salida y parámetros a optimizar) para el diseño óptimo de diferentes tipos moldes por inyección de plástico.
- Establecer una secuencia de trabajo para el diseño de diferentes tipos de moldes por inyección de plástico.

### **Justificación:**

Este trabajo se justifica por las importantes ventajas que brindan los procesos de moldeo por inyección de plásticos ya que no contamina el medio ambiente, es económico, fácil de realizar y se realiza en un tiempo breve con un elevado índice de producción, que justifica los altos costos de fabricación de los moldes y las máquinas.

### **Viabilidad:**

Se considera viable la solución del problema planteado porque existe mucha información acerca del tema, trabajos científicos, artículos publicados, libros, normas, recomendaciones, fundamentos y criterios.

### **Consecuencias y repercusiones:**

Este trabajo tendrá una repercusión muy interesante ya que será de gran utilidad para los ingenieros y diseñadores de moldes debido a que encontrarán las metodologías y la información mas concreta sobre diseño de moldes por inyección de plástico. Como consecuencia contribuye a la formación integral de los profesionales, por la concentración de conocimientos e interrelación entre ellos.

### **Hipótesis:**

Si se establece una óptima secuencia de trabajo para el diseño de los distintos elementos en los moldes, se obtendrán moldes con una mayor calidad a un menor costo.

# *Capítulo I*

## **CAPÍTULO I: Caracterización del estado del arte en el diseño de herramientas para el conformado.**

### **1.1 - Los procesos de elaboración de piezas por conformado como un sistema interactivo.**

Los procesos de elaboración de piezas por conformado son muchos, pero en este caso nos vamos a referir a uno de ellos, la fabricación de artículos plásticos por moldes de inyección y el diseño de los mismos.

El diseño y fabricación de moldes por inyección de piezas de plástico, se caracteriza entre otras cosas, por la necesidad de utilizar tecnologías avanzadas de producción como son control numérico, máquinas herramienta de 3/5 ejes, electroerosión, inspección tridimensional, sistemas CAD, prototipado rápido, etc.

Para el desarrollo de una pieza desde el diseño hasta la obtención del artículo es preciso mantener contacto permanente con empresas que se encuentran implicadas en el proceso de producción de la pieza en sí misma, cliente, suministrador de materiales, transformador, ingenierías de producto, etc. Esto resulta por tanto especialmente interesante, desde el punto de vista de la aplicación de los métodos de trabajo basados en la Ingeniería Concurrente (IC). Uno de los aspectos claves en la aplicación de la (IC), es la aplicación del concepto de integración, tanto a las actividades que se realizan, como a los recursos y aplicaciones utilizados en su desarrollo.

En este sentido la integración de la información que se intercambia y/o comparte entre las distintas aplicaciones asistidas por computación se convierte en un factor clave en la aplicación de métodos de trabajo basados en la (IC), para lo cual se requiere de la definición de la especificación de dicha información. [4]

La (IC) persigue como objetivo principal, reducir el tiempo de puesta en mercado, a través de la integración de todas las actividades a desarrollar dentro del ciclo de vida de un producto, desde su fase de definición hasta su reciclado o reutilización. El sector de fabricación de piezas de plástico, como ya se ha indicado, se caracteriza por la necesidad de utilizar en las diferentes empresas que lo forman, tecnologías avanzadas de producción, CN, máquinas herramienta de 3/5 ejes, máquinas de alta velocidad, electroerosión, inspección tridimensional, CAD, CAE, CAM, prototipado rápido, inyectoras de altas prestaciones, etc. La utilización de todas estas tecnologías se hace en el seno de empresas con una dimensión bastante dispar, y que en su conjunto constituyen la cadena de producción en este sector. El rango va desde la empresa fabricante de moldes, generalmente de tamaño pequeño, hasta las empresas de electrónica, electrodomésticos, etc., siempre más grandes, pasando por las empresas transformadoras, las empresas suministradoras de materia prima y las ingenierías de producto. Todas ellas configuran el ciclo diseño-molde- transformación-montaje. (Anexo 1).

Las necesidades del mercado obligan a que cada una de estas etapas se encuentre en un continuo proceso de incremento de la productividad, de reducción de costos y de elevación del nivel tecnológico y a la vez a incrementar la eficacia del trabajo conjunto que realizan todas las empresas y/o departamentos que intervienen simultáneamente en el diseño y la producción de un producto. En las relaciones normales entre estas empresas, en las que los tiempos de respuesta y los costos deben ser reducidos, el correcto intercambio de información entre ellas y en el interior de las mismas es un aspecto crucial. Para las empresas encuadradas en el sector de la fabricación de piezas de plástico esta información está relacionada con cuatro áreas fundamentales: diseño de producto, materiales, diseño y fabricación de moldes, y fabricación e inspección de piezas.[4]

### **Integración y compartición de información.**

De manera sencilla se puede definir el modelado de información como la especificación detallada y precisa de la información que es necesario comunicar entre distintos sistemas, generalmente informáticos, que se emplean en la realización de una serie de actividades. En este sentido se

puede considerar como ejemplo la comunicación entre sistemas CAD-CAE-CAPP-CAM para realizar las actividades de diseño, planificación de operaciones y generación de programas de CN en un entorno de diseño y fabricación de moldes. Teniendo presente cada vez mayor complejidad de los sistemas informáticos demandados por la industria, y la necesidad de garantizar por parte del desarrollador la integración de dichos sistemas en un entorno heterogéneo, se han desarrollado distintas metodologías tendentes a facilitar el desarrollo de dichas aplicaciones o la integración de las ya existentes. La idea principal es realizar una especificación precisa de la información que debe gestionar o intercambiar el sistema y de su forma de implementación, de manera que el tiempo de desarrollo se vea reducido y los requerimientos del cliente satisfechos.[4]

### **1.1.1 - Modelos desarrollados.**

El método de trabajo basado en la (IC), detalla las actividades, flujo de información, recursos y elementos de control implicados en el ciclo de diseño y fabricación de moldes, al mismo tiempo se ha especificado también la secuenciación de dichas actividades y los eventos y acciones que permiten automatizar el proceso lo más posible, así como la información a intercambiar o compartir. El modelo global desarrollado se compone de:

1. Modelo de actividades: comprende el modelo de las actividades a realizar, flujo de información, recursos y elementos de control. De acuerdo con la terminología de STEP se conoce como Application Activity Model (AAM), y se ha realizado con el método IDEF0.

2. Modelo de datos: contiene la especificación de la estructura de datos de la información que se va a intercambiar en el proceso. Se corresponde con el Application Reference Model (ARM) según la terminología STEP.

De acuerdo con la metodología IDEF0, el modelo de actividades tiene una estructura de árbol, de forma que el nodo raíz (A-0) se corresponde con el nivel más general de descripción, y conforme se avanza en el modelo los distintos nodos se corresponden con actividades de más bajo nivel.

En el anexo 2 se representa el nodo (A-0) correspondiente a la actividad *Diseñar y fabricar molde*. Esta actividad implica el diseño, fabricación y evaluación del molde que se va a emplear en la fabricación de las piezas de plástico. Como entrada a esta actividad figuran la petición de oferta de diseño y fabricación del molde. Hay que establecer esta distinción ya que el fabricante del producto o el transformador de la pieza de plástico pueden encargar el estudio del molde (con la correspondiente oferta) a un moldista en particular y subcontratar posteriormente el diseño y fabricación a otro moldista diferente. Desde el punto de vista de la información necesaria, para diseñar el molde hace falta fundamentalmente la información geométrica y tecnológica de la pieza a obtener y las condiciones de transformación de la misma.[4]

La actividad “Diseñar Molde” incluye el diseño completo del molde teniendo en cuenta la descripción de la pieza a fabricar y las características de la máquina con que se va a inyectar. Esta actividad se divide a su vez en tres actividades principales:

- Estudio previo del molde, donde se verifica la geometría de la pieza, se realiza un estudio de viabilidad del molde necesario para fabricarla y se genera una oferta para su diseño y construcción. Se analiza la posible configuración del molde, pero desde un punto de vista conceptual, sin entrar en detalle. El objetivo es iniciar esta actividad una vez que la definición de la pieza sea suficiente, para lo cual se define un estatus de nivel de definición geométrica de forma que automáticamente se lanza dicha información cuando se alcanza el estado Diseño Previo. Esto permite por tanto iniciar de forma paralela el diseño del molde, obteniéndose su configuración general y estimando el costo de fabricación y el plazo de entrega.
- Anteproyecto del molde, donde se define qué configuración va a tener el molde, tipo de molde, número de cavidades, posición de la línea de partición, tipo de sistema de

inyección, extracción, refrigeración, etc. Comprende un análisis previo de la posible configuración del molde, teniendo en cuenta aspectos tales como: geometría completa de la pieza, análisis modal de fallos y efectos (AMFE), análisis reológicos en función de la configuración de molde elegida, etc. En esta actividad no se llegan a determinar completamente las dimensiones geométricas, tolerancias y materiales del molde, términos que se realizarán posteriormente en la actividad de proyecto de molde. Por ejemplo, en esta actividad en función de las características geométricas y tecnológicas de la pieza se determinará si el tipo de canal es frío o caliente; si el tipo de entrada es en anillo, punto o laminar; si el molde será de dos placas, de mordazas, de extracción por segmentos o de tres placas. Además, se determinarán las siguientes características relativas a las cavidades: número de cavidades a usar, en función de criterios económicos según la oferta emitida en la actividad (estudio previo del molde), la línea de partición del molde y las características de los insertos a emplear en la cavidad (material, número, geometría aproximada, etc.). Se determinarán también las características generales del sistema de inyección, características del bebedero, de los canales de alimentación y distribución, de las entradas y de los respiraderos; así como del resto de los sistemas que conforman el molde.

- Proyecto del molde, donde se realiza el diseño de detalle de las distintas partes que componen el molde (cavidades, sistema de inyección, refrigeración, guiado, expulsión y cierre) y de las herramientas necesarias para fabricarlo (electrodos para erosionado de cavidades). Como entradas a esta actividad se tienen, la información sobre la geometría definitiva de la pieza, la oferta económica y los plazos de entrega estimados en la actividad de estudio previo y toda la información del anteproyecto del molde; obteniéndose por ejemplo, la información geométrica y tecnológica completa de las cavidades e insertos del molde (dimensiones exactas, forma, posición, tolerancias, acabado superficial, método de fabricación, etc.), así como de todos los sistemas del molde. El resultado de esta actividad es el proyecto final del molde. Asimismo, se obtiene un listado de los materiales necesarios y el plazo de entrega de estos. Esta actividad se compone a su vez de un conjunto de subactividades como se representa en el diagrama del nodo A13 (Anexo 3).

Aunque durante la actividad del Diseño del Molde se puede solicitar una modificación del diseño de la pieza, el método de trabajo basado en (IC), dispone que el moldista participe en el diseño de la pieza desde las primeras etapas a fin de contemplar desde un primer momento su conocimiento sobre la fabricabilidad de la misma, de esta forma se disminuye la posibilidad de modificaciones posteriores, con las consiguientes mejoras de diseño y reducción de tiempo. Por lo que respecto a las actividades de fabricación, en el proyecto se ha desarrollado el modelo que contempla la fase de planificación de la fabricación y la fabricación en sí misma. Como resultado de la actividad A2 (Planificar fabricación del molde), se obtiene el plan de proceso y los programas de CN. La actividad A3 “Fabricar Molde” (Anexo 4) comprende tres subactividades principales:[4]

- Suministrar y preparar recursos de fabricación para el molde: Se obtienen y preparan los recursos necesarios (humanos, instalaciones, equipos, materiales, herramientas, etc.) para llevar a cabo la fabricación del molde. Para ello se utiliza como entrada el plan de operaciones de fabricación del molde procedente de la actividad A2 (Planificar fabricación del molde).
- Mecanizar molde: Comprende el mecanizado de las cavidades (por arranque de viruta y electroerosión), pulido, identificación y mecanizado de elementos normalizados (placas base, guías, extractores, boquillas, circuitos refrigeración, etc.). Para ello se hace uso de la información contenida en el plan de operaciones de fabricación del molde. El plan contiene la definición completa de los procesos a realizar para mecanizar los electrodos, la cavidad y el utillaje del molde (operaciones a ejecutar, persona asignada, herramientas a usar, plazos, máquinas a emplear, etc.). Para el mecanizado se utilizan los programas de CN generados en la actividad A2.

- Montar y ajustar molde: En esta actividad se ensamblan todos los componentes del molde. El montaje se puede dividir en las siguientes etapas: montaje de cavidades, montaje del sistema de expulsión, montaje de la cámara y cierre del molde.

En la literatura consultada se encontraron también otros procesos de fabricación rápida de utillaje para inyección de plástico. Los cuales se basan en tres tecnologías principales de fabricación:[5]

1. SLS Metal. Sinterizado selectivo láser de metal
2. DMLS. Sinterizado directo de metal por láser
3. Láser Cusing. Fusión de polvo metálico por láser.

Existen otras técnicas que se encuentran en investigación como son:

1. Estereolitografía utilizando resina con carga cerámica. SLA+ carga cerámica
2. Sinterizado selectivo láser de poliamida con carga de aluminio. SLS PA+AL
3. Colada en vacío de resina con carga de aluminio. EP 310.

A continuación se explican algunas de ellas:

(SLS Metal) Sinterizado selectivo láser de metal: es una técnica que fabrica las piezas por capa. Cuando ha terminado una superficie el rodillo añade una nueva capa de material y procede a sinterizar la siguiente sección. En el caso metálico la sinterización se hace en un segundo proceso en horno. En el anexo 5 se muestra el ciclo por donde pasa la pieza.

Como ejemplos representativos tenemos un Molde de Persiana para Inyección de Plástico con un Material ST-200 (Acero con Bronce) y Electrodo TOY para Electroerosión con un Material: A6 (Acero con Cobre) ambos con una Fuente: AIJU (Figura 1.1)



Figura 1.1: Ejemplos representativos

Proceso de DMLS. Sinterizado directo de metal por láser: es un proceso aditivo en el que por láser se van sinterizando (cercano al punto de fusión dependiendo del material) finas capas de metal en polvo. Se va añadiendo capa por capa de abajo hacia arriba. Como se muestra en la figura 1.2.

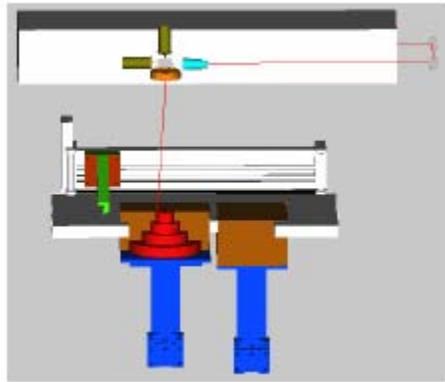


Figura 1.2: Proceso de DMLS

Como ejemplos representativos tenemos un Molde para producción de pieza de ABS con un Material DirectSteel 20 con una Fuente: F.Ascamm. (Figura 1.3)



Figura 1.3: Ejemplos representativos

El proceso de fabricación mediante DMLS crea piezas a partir de un fichero CAD, por adición de material en polvo, fusionando algunas de sus partículas. Esto significa, que por las condiciones en las que el proceso de DMLS es utilizado y por su dependencia con la geometría que se desea construir, hay que prestar especial atención al diseño adecuado de la geometría, como tendría que ser para cualquier método de fabricación.

No existe una norma o condición sobre cual se especifique la fabricación más adecuada (fresado, electroerosión, DMLS) a utilizar. Por razonamiento básico, una pieza que puede ser fresada con el mínimo esfuerzo, por lo general, debería ser fresada. Normalmente, sólo tiene sentido utilizar el sinterizado con láser en aquellos casos en los que la electroerosión, el fresado de cinco ejes o el mecanizado de piezas que precisan de múltiples estacadas, serían los métodos más requeridos económicamente. [5]

Antes de tomar una decisión sobre cual sería la solución más económica para fabricar un molde, debería hacerse una estimación de los tiempos de producción empleados en distintos procesos. Hay que prestar especial atención al hecho de que con DMLS, sólo habrá que construir las geometrías relevantes y que los volúmenes superfluos, a ser posible, deberían ser evitados. Un ejemplo de geometría apropiada se muestra en la figura 1.4.

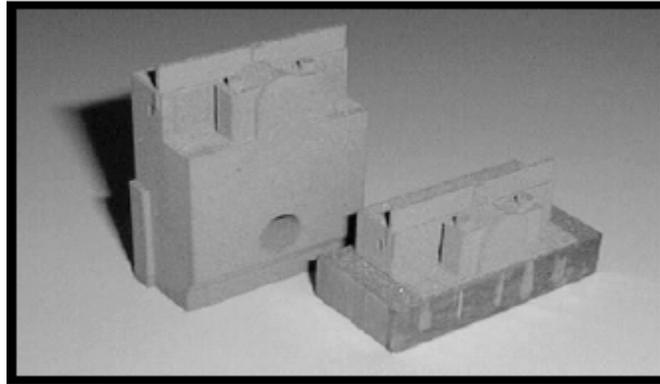


Figura 1.4: Ejemplos de geometrías fabricadas con DMLS.

Esto es especialmente relevante en el caso de postizos para moldes ya que, como en todo proceso de generación por capas, la geometría de la pieza no es lo que determina el tiempo de fabricación y el costo. El factor determinante, es el volumen de construcción (total de volumen a sinterizar) y la altura de la pieza (número de capas). Los postizos deberían, ser en la medida de lo posible, reducidos tanto en el plano X y Y como en Z para asegurar un proceso de fabricación lo más corto posible con el consiguiente ahorro económico. En el postizo mostrado en la figura 1.5, se aprecia como optimizar tiempo si solamente se construye la parte de cavidad que realmente es necesaria. Así mismo, es también preferible redondear las esquinas para evitar grietas.

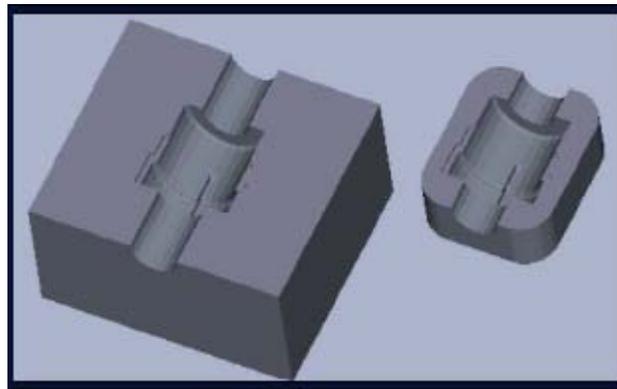


Figura 1.5: Optimización de geometría a construir.

El proceso de Láser Cusing. Fusión de polvo metálico: consiste en fundir polvo metálico de un solo componente capa a capa por la acción de un láser hasta conseguir una densidad del 100%. En la figura 1.6 se muestra la descripción del proceso. [5]

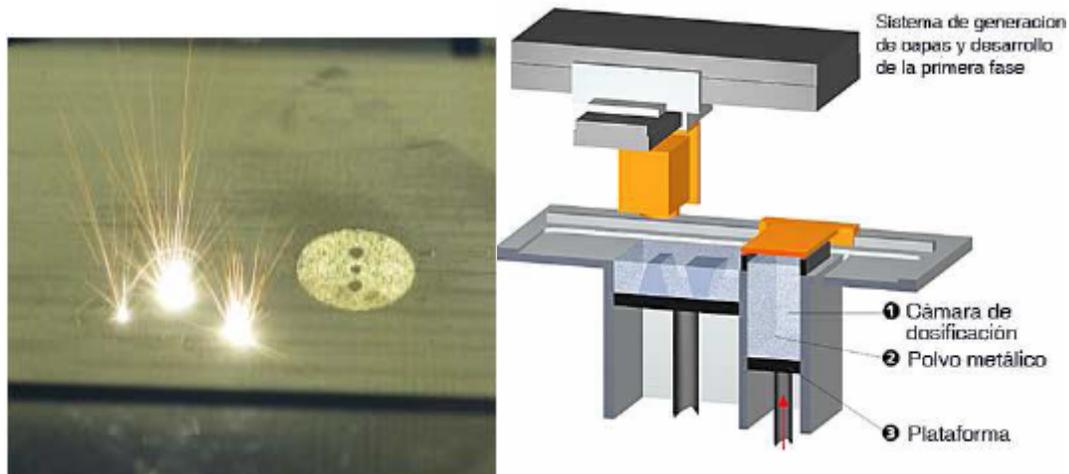


Figura 1.6: Descripción del proceso

Este proceso al igual que todos los demás también presenta algunas consideraciones como son dimensiones, complejidad, costo tiempo de ciclo y materiales.

- La dimensión de construcción en la máquina es de 300x350x250mm. Así, en función de la topología del molde, condicionaríamos la estrategia de diseño del molde.
- Postizos de molde de dimensiones inferiores a las descritas: su construcción podría realizarse sin ningún problema en un solo proceso de construcción, obteniendo una pieza íntegra unitaria.
- Postizos de molde de dimensiones superiores a las descritas: su construcción no puede hacerse en un único proceso de construcción y son necesarios varios en función de la sobre dimensión de la pieza por encima de las dimensiones de construcción de máquina. De esta forma se debe prever en el molde que este inserto debe estar dividido en varias partes y por lo tanto incluir sus sistemas de unión, etc. Es especialmente crítica esta situación cuando el dividir el inserto en partes supone cortar el sistema de refrigeración del mismo, debiendo preverse e incluir circuitos independientes para cada una de las partes evitando la colocación de juntas de estanqueidad, etc.
- Los procesos tradicionales de construcción de molde son los de arranque de viruta CNC o HSM acompañados de electroerosión o corte por hilo.

El proceso de laser cusing es un proceso lento. En muchos casos más lento que cualquiera de los anteriormente enumerados por separado. La ventaja de esta tecnología aparece cuando es necesario realizar una pieza que requiere de una elevada participación de las técnicas tradicionales de fabricación de forma secuencial. Por ejemplo, supongamos que se quiere realizar una pieza de molde destinada a realizar una pieza plástica con elevado número de nervios y de gran profundidad. Esta, mediante técnicas convencionales requeriría de un mecanizado CNC de la pieza a falta de los nervios, de un mecanizado HSM para la realización de electrodos que nos permitan eliminar el material de las nervaduras y posteriormente de la electroerosión de la pieza utilizando estos electrodos. Se han empleado tres procesos de fabricación con su correspondiente ocupación de máquina, operarios y tiempos de espera entre máquinas, por el contrario, con la lasercusing se emplearía una única máquina que libera al resto de máquinas del taller, sin operario y obteniendo una pieza final.

Así a mayor complejidad de pieza mayor ventaja de lasercusing sobre técnicas convencionales. El costo de realizar una pieza compleja (elevado número de nervios) y una simple es muy similar con esta tecnología, puesto que está en función del volumen a construir. De hecho, construir una pieza nervada es ligeramente más barato que una sencilla.

La rentabilidad de la tecnología radica en su comparación frente a técnicas convencionales (Anexo 6), puesto que para piezas de las mismas dimensiones pero con diferencias de complejidad, con técnicas convencionales se aprecian altas diferencias de costos.

No podemos olvidarnos del papel que juega la logística en estos procesos de diseño y fabricación de los moldes, ya que su principal función es la de lograr una pieza con calidad a un menor costo y la satisfacción del cliente en un tiempo mínimo. [5]

### **1.1.2 - Conceptos generales sobre logística aplicados a los procesos de elaboración de piezas por conformado.**

El concepto logístico que se aplica en las empresas se caracteriza por jugar un papel de integración de las actividades que tienen que ver con el aseguramiento de un flujo dirigido a suministrar al cliente los productos y servicios que demanda en el momento que lo demanda, con la calidad exigida y al costo que está dispuesto a pagar. Para ello centra su actividad en realizar la

coordinación de las actividades siguientes en función de asegurar el flujo que garantiza un alto nivel de servicio al cliente y de reducción de costos.

Almacenaje, despacho, aprovisionamiento, compras, economía material, transporte externo, transporte interno, transporte interempresa, distribución, tratamiento y atención de los pedidos, reciclaje de residuos y de los productos desechados por el cliente, planificación de la producción, control de producción, información y comunicaciones, control de calidad, finanzas, mantenimiento, mercadeo, ventas, protección del medio ambiente.

Esto no significa que la gerencia logística asuma la gestión de cada una de las actividades anteriores, sino que se encarga de realizar la coordinación de las variables de cada una de ellas para garantizar soluciones integrales en función de ejecutar un flujo racional y que asegure un alto nivel de servicio al cliente con bajos costos. La tendencia es buscar cada vez más autonomía de los eslabones ejecutivos de la empresa conjuntamente con el aumento de la integración de la gestión de toda la cadena logística, lo cual permite una elevada capacidad de reacción ante los clientes, una alta capacidad de innovación y un incremento del valor de los productos. La empresa debe adoptar para tal fin una filosofía de gestión y una organización plana o de redes de unidades que posibilite una consecuente aplicación de esta concepción organizacional de la logística.

## **1.2 - Herramientas básicas para los procesos de conformación.**

Las herramientas básicas para los procesos de conformado son todas aquellas que de una manera u otra, sirvan para la fabricación de las piezas, moldes, troqueles y estampas, que se quieran obtener por este procesos, incluyendo desde las herramientas mas sencilla, software, maquina herramientas e inyectoras. Pero la selección de la misma se rige por el tipo de pieza, cantidades, materiales, tipos de plásticos a emplear, por el diseño del molde y calidad del producto a obtener, por lo que se necesita conocimiento de este proceso y experiencia del mismo.[3, 6]

### **Características del troquel.**

El troquel es una herramienta que se monta sobre una prensa (mecánica, neumática, etc.) Que ejerce una fuerza sobre los elementos del troquel, provocando que la pieza superior encaje sobre la inferior o matriz. Como consecuencia se produce la estampación del material que se ha interpuesto entre ambas piezas. Un troquel puede realizar operaciones de: corte, punzonado, embutición, doblado, o conformado.

El troquel puede ser: Simple, cuando en un solo golpe realiza la operación correspondiente sobre la pieza.

Progresivo, cuando se alimenta de forma continua, realizando las diversas operaciones en cada golpe. El troquel se compone de diversas etapas, de modo que cuando una parte del fleje en su avance, ha pasado por todas ellas, se obtiene la pieza final. Fundamentalmente el troquel esta formado por tres placas, (figura 1.7) sobre las que se montan todos los elementos que lo configuran.

- La placa inferior, que se fija mediante pernos que se introducen por las guías de la mesa de la prensa y por los agujeros realizados al efecto en la placa. En ella, se fija la matriz y las columnas guía.
- La placa superior, que ha de anclarse en la parte superior de la prensa o carro mediante pernos que se introducen por las guías de la prensa y las diseñadas al efecto en la placa. Sobre ella se sitúan las herramientas que actuarán sobre la pieza y los pistones. Se ha de tener en cuenta que las columnas guía han de pasar a través de la placa y deben librar la prensa en su posición más desfavorable.
- La placa pisadora, va entre las anteriores y su función es fijar la pieza a la matriz, antes de que baje totalmente la prensa y actúen las herramientas de corte, doblado u otras, que

pasan a través de ella y lo hagan de forma precisa. En el proceso de ascenso de la prensa, tiene la importante función de evitar que la pieza sea arrastrada por las herramientas que han actuado sobre ella. Para ello se colocan unos pistones que mantienen la placa pisadora sobre la pieza durante un tramo del ascenso.

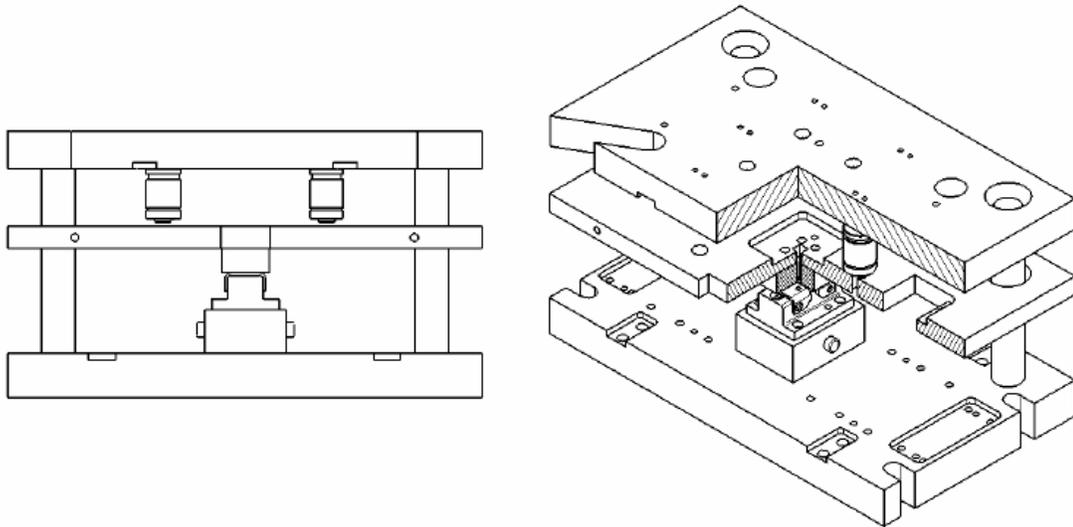


Figura 1.7: Placas superior, pisadora e inferior y guías. Se aprecia la matriz y un pistón.

Los materiales empleados son específicos según la función que han de realizar. Ya se ha indicado en algunos casos, que requisitos debe cumplir el material a emplear en las piezas que configuran el troquel. Se han empleado siete tipos de aceros o aleaciones. En el caso de materiales que soportan rozamientos como los casquillos o las placas por las que deslizan las cuñas, se emplea bronce/aluminio, que sufren el desgaste y facilitan la lubricación, lo que requiere es que sean fácilmente accesibles para su recambio, de este modo se preservan las piezas con las que están en contacto. Las guías de los troqueles son piezas que transmiten y reciben una parte importante del esfuerzo de la prensa, se colocan entre los punzones y las placas, evitando su deterioro, son más duras que las placas, por lo que se utiliza un acero de dureza 52-54 Rc. Los punzones, la matriz, los muelles y las columnas tienen las exigencias de dureza más estrictas de 60-62 Rc. Las cuñas, tienen un cementado en las superficies de contacto para resistir el golpeteo y los esfuerzos que transmiten. Las demás piezas, se fabrican en aceros que no requieren tantas exigencias. Estas especificaciones se indican en la lista de materiales.[6, 7]

La lista de materiales es un documento importante en el que se identifica cada elemento del troquel con sus características más significativas y sus especificaciones técnicas más destacadas.

En la lista de materiales se han consignado los datos siguientes:

- Marca: es el número que se asigna a cada pieza del troquel.
- Número de plano: es el plano de detalle de cada una de las piezas.
- Cantidad.
- Material: se indican las características materiales de cada pieza. En las comerciales no es preciso consignarlo.
- Tratamiento térmico.
- Dimensiones netas: son las dimensiones finales de la pieza.
- Dimensiones brutas: son las dimensiones con la sobre medida de mecanizado.
- Peso.
- Proveedor.

Marca	Nº Plano	Cantidad	Denominación	Material	Tratamiento termico	Dimensiones netas	Dimensiones brutas	Peso (Kg)	Proveedor
1	8	1	Placa inferior	F-111		65x700x400	70x705x405	132,029	Bilbainos
2	9	1	Placa Superior	F-111		55x770x400	60x775x405	108,005	Bilbainos
3	10	1	Placa pisador	F-111		33x700x400	40x705x405	62,446	Bilbainos
4	11	2	Columna D50	F-521	T.R. 60-62 HRc	d= 50 ; L= 375		5,758	Bilbainos
5	12	1	Matriz	F-521	T.R. 60-62 HRc	55x100x125	60x105x130	2,926	
etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.

Tabla 1.1: Lista de materiales, ejemplo de algunos de ellos.

### 1.3 - Procesos de manufactura para moldes de inyección por maquinado.

En este epígrafe se tratará brevemente de los diversos procesos de manufactura para hacer moldes de inyección por maquinado y la maquinaria comúnmente utilizada. Además de los factores tecnológicos críticos que deciden sobre el proceso de diseño de las herramientas, agujeros y cavidades, tolerancias de fabricación, radios mínimos, ángulos o planos, complejidad secciones geométricas, número total de piezas, material, fricción, lubricación, dimensiones y otras que se consideren.

Un molde de inyección debe diseñarse para ser manufacturado con facilidad y siempre teniendo en cuenta el factor económico y la maquinaria disponible. Por esto, un molde debe diseñarse teniendo en cuenta el proceso por el que es más factible hacerlo. [3, 8, 9]

La mayoría de los moldes son construidos por maquinado a partir de un solo bloque o a partir del maquinado de varios bloques. No importando que se usen otros métodos como “hobbing” o fundición, siempre es necesario hacer algún tipo de maquinado. El acero usado viene en placas o en perfiles estándar que se compran aproximadamente a la medida necesaria.

El primer paso a construir un molde por maquinado es preparar el acero de las cavidades, a exactamente la medida necesaria. En el caso de moldes pequeños esto se puede hacer en una máquina cortadora y en el caso de moldes grandes en una máquina de planeado. Las placas más grandes como placas de soporte y de más, son preparadas de la misma manera. Se debe buscar siempre maquinar la mayor parte del molde en una misma máquina para reducir el número de procesos y así el costo del molde. El maquinado de las cavidades se hace con maquinas estándar con o sin herramental especial. El método adoptado está sujeto al equipo en general con que se cuenta en el taller.[8]

#### Torneado:

El maquinado de círculos o semicírculos, machos o hembras puede ser realizado en un torno para lo cual, en caso de haber perfiles caprichosos se hace uso de herramientas de forma. El método es relativamente rápido y directo. Es por eso que los moldes con forma circular son regularmente baratos. En algunos casos se puede incluso realizar el pulido en el mismo torno. Aparte de la posible utilización del torno para la manufactura de los moldes, en el torno se realizan múltiples detalles como la manufactura de los pernos guía, pernos expulsores, pernos corazones y bujes de colada, etc.

#### Hobbing:

Este proceso consiste en hacer penetrar un inserto endurecido en un bloque de acero frío. Al penetrar en el material se conseguirá la forma negativa del inserto en el bloque de manera que se

tendrá una cavidad. El acabado de este método es muy bueno y solo requiere de un pulido posterior a la extracción del inserto.

**Fresado:**

Las superficies planas o curvas interiores o exteriores, de casi todas las formas y tamaños pueden maquinarse por fresado. Las operaciones comunes de fresado son:

- Fresado plano o en lozas
- Fresado de ranuras o cuñeros
- Fresado lateral o de cantos
- Fresado de cajeados
- Fresado de caras
- Fresado de formas

Como regla, la pieza de trabajo se alimenta hacia un cortador de fresado que gira y por lo general tiene un número de dientes que realizan cortes intermitentes en sucesión.

**Rectificado:**

El trabajo de esmerilado o rectificado de precisión se hace en superficies de casi todas las formas concebibles y en materiales de todas clases. El esmerilado puede clasificarse como, sin precisión o de precisión, de acuerdo con el propósito o procedimiento. En el esmerilado sin precisión las formas comunes son el desbaste y el esmerilado a mano, se hace principalmente para eliminar material en exceso que no puede eliminarse en forma tan conveniente por otros métodos.

El trabajo se realiza oprimiendo la pieza con fuerza contra la rueda o viceversa. La exactitud o acabado de la superficie obtenida son de importancia secundaria. En el esmerilado de precisión o rectificado se ocupa para la producción de buenos acabados de superficies y dimensiones exactas. La rueda o la pieza se guían en trayectorias precisas.

Las 3 clases básicas de rectificado son:

- Rectificado cilíndrico externo
- Rectificado cilíndrico interno
- Rectificado de superficie

**1.3.1 - Maquinaria utilizada para la producción de moldes.**

**Fresadoras estándar:**

Las fresadoras, en especial las verticales (Figura 1.8), son ampliamente usadas en la manufactura de moldes. No solo para maquinar las cavidades si no también para maquinar otras piezas como corazones, canales, placas, etc. Es importante destacar que se debe tener especial cuidado cuando se maquina partes profundas con herramientas de diámetros pequeños. El uso de mesas rotativas provee de cierta facilidad para maquinar arcos o formas circulares. Otras operaciones como maquinar arreglos de arcos o geometrías similares pueden realizarse con el empleo de cabezales divisorios. En una fresadora estándar puede realizarse casi cualquier forma por medio del movimiento natural de la máquina o por medio de plantillas. Sin embargo esto requiere de cierta habilidad y experiencia y por esto existen máquinas herramientas especiales. [10]

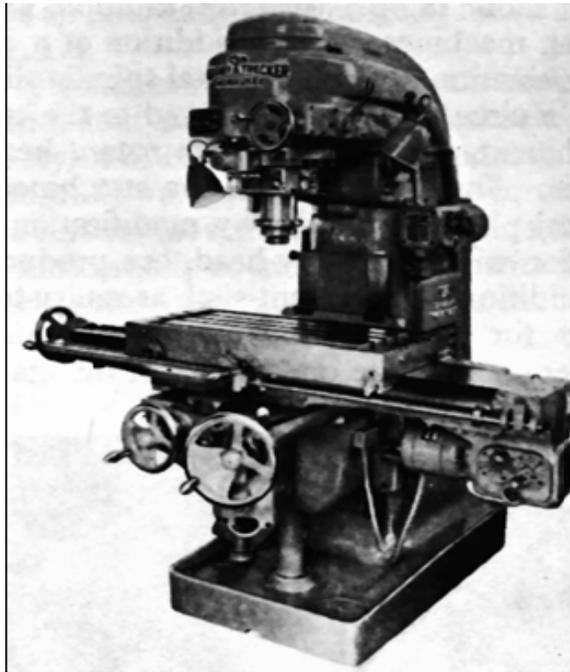


Figura 1.8: Fresadora con cabezal rotativo

#### **Duplicadoras automáticas:**

Este tipo de máquinas son ampliamente usadas para maquinar cavidades complejas. Se usan para moldes de medio tamaño a tamaño grande. Esencialmente es una máquina fresadora vertical en la que va montado el modelo y el material a maquinar. Montado junto al cortador esta un trazador que controla el movimiento vertical de corte y el movimiento longitudinal y transversal del carro de la máquina. Por medio de esta máquina casi cualquier forma puede ser duplicada. En trabajos en los que se requiere maquinar un perfil, se usa una plantilla en lugar de un modelo en tres dimensiones. [10]

#### **Máquinas grabadoras:**

Algunos moldes incluyen diseños decorativos, letras en relieve y detalles en general. En muchos casos estos diseños son mejor maquinados por medio de grabado en el molde. Las máquinas grabadoras en su forma más simple se conforman por un mecanismo de pantógrafo. Dicho mecanismo consta de un trazador manualmente guiado por el contorno de una plantilla, el resultado puede ser en una escala aumentada o reducida según el ajuste que se le dé a los brazos del mecanismo.

#### **Pantógrafos de tres dimensiones:**

El uso del pantógrafo ha sido masivo en algunas aplicaciones y el resultado ha sido una evolución de uno de dos dimensiones a uno de tres dimensiones (Figura 1.9). Esta máquina es especialmente útil para copiar a casi cualquier escala el modelo de una cavidad. Siempre se acostumbra realizar un desbaste en una fresadora convencional antes de usar este tipo de pantógrafo.[10]

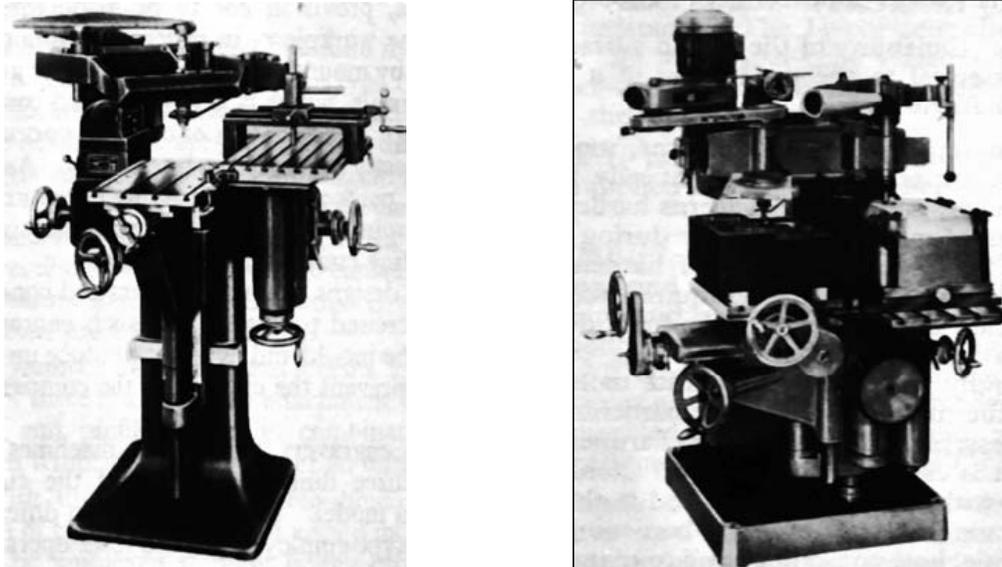


Figura 1.9: Pantógrafos tridimensionales.

### **1.3.2 - Uso de Sistemas CNC y CAM en el diseño y construcción de moldes.**

Muchos beneficios se derivan del uso de sistemas CAD-CAM en el diseño y construcción de moldes. Algunos de estos beneficios son: [8, 11]

- Se minimizan los errores en los dibujos lo cual incrementa la calidad del molde.
- Se incrementa la precisión en el maquinado.
- Estandarización de partes y componentes.
- Permiten una mayor respuesta a las demandas del mercado y permite correcciones rápidas y precisas.

El uso de máquinas CNC, permite obtener todas las características geométricas del molde, directamente de los dibujos generados por los sistemas CAM. Con el uso de máquinas convencionales de fresadora universal, la información geométrica es tomada por el operador para ajustar todos los parámetros de la maquinaria de movimientos de corte, avance, número de revoluciones. Gracias a los programas modernos de CNC es posible: [8, 11]

- Generar y optimizar los desplazamientos de la herramienta.
- Definir los ciclos de maquinado automáticamente de desbaste y acabado.
- Trabajo por puntos de barrenado, roscado, rimado.
- Fresado de cavidades y superficies de diferentes profundidades y geometrías.
- Definición de puntos de inicio y terminación de rutas
- Simulación dinámica y estática del proceso de maquinado con chequeo de colisión entre la parte y el husillo.
- Generación del código CNC en formato apropiado.

#### **1.4 - Requerimientos necesarios para un molde de inyección.**

Los principales requerimientos que debe cubrir un molde son la exactitud dimensional (dentro de las tolerancias permitidas) y la apariencia final (acabado).

El principal problema que influye en la precisión del molde es el encogimiento del material plástico. Son muchos los diferentes factores que afectan las dimensiones debidas a la contracción del producto moldeado (temperatura, presión, tiempo de enfriamiento, entre otros).

Los plásticos con una baja contracción (menos de 0,6%) usualmente no presentan problema, y las dimensiones del molde pueden ser fácilmente calculadas para dar la exactitud final de las dimensiones del producto. Con plásticos con una alta contracción (más del 0,6%) deben ser tomadas otras consideraciones importantes para el diseño del molde. Los moldes deben construirse con dimensiones mayores a los productos terminados.[12]

En los procesos de inyección - compresión y transferencia, los productos al contraerse en el molde se adhieren firmemente al macho y a la vez se desprenden de la hembra por el efecto de que la contracción se produce en la cavidad del molde desde afuera hacia dentro.

En algunos termoplásticos y termoestables este proceso de contracción termina varios meses después de fabricados. Cuando se desarrolla un proyecto para la fabricación de un artículo de gran exactitud dimensional, lo más aconsejables es realizar ensayos previos antes de definir cuales son las dimensiones finales.[13]

Los prototipos deberán ser fabricados controlando cuidadosamente la temperatura, el tiempo, y la presión de procesamiento, cualquier variación en unos de estos factores o en el tipo de material conducirá a variaciones en las contracciones. Cuando el artículo no exige gran exactitud dimensional, por ejemplo; un producto para uso doméstico el diseñador debe basarse para calcular la contracción en los datos que suministra el fabricante del material plástico, por lo que el encargado de la producción del artículo deberá tener en cuenta las recomendaciones del fabricante relacionadas con la temperatura, presión y ciclo con que se debe operar la máquina procesadora.

En los moldes con frecuencia ocurre que al presentar nervaduras estas no debe diseñarse con ángulos vivos, los cuales dificultan el flujo de material. La forma correcta de diseñar un nervio es que la base no debe ser menor que el espesor de la pared del producto y donde su altura no debe ser mayor a 3 veces la dimensión de la base. La inclinación debe ser no menor a (2 grado) para termoplástico y (5 grado) para termoestables, por los lados y los cantos deben tener un radio igual a la tercera parte del espesor de la base.

La utilización de los radios que sustituyan los ángulos vivos de las esquinas se deben siempre tener en cuenta, no solo en el caso de nervaduras sino de cualquier arista que tenga el producto.

Estos radios eliminan las tensiones interna que originan roturas. Deben ser fácilmente maquinables, y el diseñador debe consultar con la disponibilidad que tenga el taller en relación con las herramientas de construcción.

Cuando el producto tenga uno o varios orificios se situaran en el molde un inserto destinado a dar forma de orificio, estos insertos deberán ser removibles fácilmente para reemplazarlos en caso de rotura. Cuando los orificios no son pasantes, la altura del inserto debe guardar una relación con su diámetro y no debe ser muy larga para evitar roturas o flexiones que se pueden presentar durante el moldeo. Por esto siempre se debe cuidar que la altura sea igual al diámetro multiplicado por un factor K que depende de la fluidez del material y del proceso de fabricación utilizado. Por lo general para diámetros mayores a 1.5mm y para termoplásticos  $K=2.5$  y para compresión de termoestables  $K=1.5$ . Para insertos con diámetros menores a 1.5mm la altura debe ser igual al diámetro.[12]

En los artículos plásticos se pueden obtener roscas de cualquier perfil sin embargo las roscas rectangulares y las de paso pequeño no se obtienen con suficiente resistencia.

En las piezas de termoplásticos y plásticos termoestables se recomiendan las roscas con el diámetro menor a 2.5mm, en las piezas de plásticos termoestables fibrosos no menor de 4mm. La longitud de la rosca no debe ser mayor que dos veces el diámetro.

Las inclusiones o empotramiento de insertos de otros materiales en las piezas plásticas, se emplean con la finalidad de elevar la resistencia mecánica, resistencia al desgaste, crear circuitos para corriente eléctrica, secciones roscadas, etc.

Los insertos pueden ser de aceros, de bronce, latón, cobre, aluminio, plásticos laminados, cristal, mica cerámica y otros materiales.

Un inserto bien diseñado se debe introducir en el molde y extraer con el producto moldeado con facilidad.

Los métodos modernos de moldeo automático de alta productividad han provocado una disminución del uso de insertos, por estos algunos insertos se han diseñado para ser montados después de extraído el producto, existen herramientas que se basan en el principio de ultrasonido para introducir estos insertos en el producto plástico ya elaborado, lo que disminuye la posible contracción de tensiones y hace el proceso mas productivos.

La resina de epóxido se puede emplear para pegar insertos en los productos de termoestables. Existen disolventes que se emplean para pegar los insertos en algunos termoplásticos para productos ya elaborados.

Las tolerancias y Superficies de los moldes de inyección deben de darse lo mas correctas posibles ya que son parámetros críticos en la pieza. Para las posibles tolerancias de los termoplásticos o termoestables son de  $\pm 0.008$  pulgadas a  $\pm 0.002$ .

Para la lubricación y refrigeración del molde, se utiliza agua como agente primario. Normalmente un molde más frío es más eficaz, porque esto permite los tiempos del ciclo más rápidos. Sin embargo, esto no siempre es así, porque los materiales cristalinos requieren lo contrario, de un molde más caluroso y tiempo del ciclo más largo.

Los orificios de ventilación en la cavidad del molde, permiten que el gas (aire) que se encuentra presente en la cavidad escape mientras la resina la llena. El venteo inadecuado puede hacer que el gas se comprima en la cavidad y se caliente hasta el punto de causar marcas de quemaduras en la pieza.

La ubicación de los orificios de ventilación depende de la distribución de la cavidad y puede predecirse con exactitud por medio de la simulación del flujo. También se pueden usar inyecciones cortas para descubrir las áreas donde se requiere el venteo. Por lo general, los orificios de ventilación se deben colocar opuestos a los puntos de inyección.[12]

#### **1.4.1 - Materiales para la construcción de moldes para inyección de plásticos.**

En la construcción de moldes para inyección de plásticos es necesario utilizar aceros especiales por las condiciones de trabajo, debido a las cargas severas a que son sometidos y porque se requiere alta precisión en los acabados. A esto hay que añadir que las tolerancias manejadas son muy finas.

Dentro de la gran gama existente de materiales para la construcción de moldes para inyección de plásticos, podemos encontrar a los aceros, materiales de colada, materiales no metálicos y materiales cerámicos. [14]

Los aceros, utilizados en moldes para inyección deben cumplir con las siguientes características:

- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la temperatura
- Resistencia a la abrasión

- Aptitud para el pulido
- Tener deformación reducida
- Buena conductividad térmica
- Buena resistencia química
- Tratamiento térmico sencillo

Dentro de los aceros para moldes podemos encontrar a los aceros de cementación, de nitruración, templados, bonificados para el empleo en el estado de suministro o resistentes a la corrosión.

Los materiales de colada se utilizan en la fabricación de moldes con perfiles forjados o laminados. El costo de la mecanización de este tipo de molde es alto, y el tiempo empleado en la fabricación de estos moldes puede ser considerable. Hay que tener en cuenta, además que la exactitud de dimensiones y la calidad superficial son inferiores respecto a los moldes fabricados por mecanizado.

Dentro de este tipo de materiales podemos encontrar a la fundición de acero y los metales no ferrosos. Los materiales no metálicos se usan en moldes para inyecciones de prueba, destinadas a obtener muestras de artículos que posteriormente vayan a ser fabricados, por lo general, el material básico es algún tipo de resina epóxica.

Los materiales cerámicos, han mostrado en recientes investigaciones las siguientes características: estabilidad con los cambios de temperatura, buen comportamiento deslizante, buena resistencia química, buena conductividad térmica. Podemos mencionar como un ejemplo el carbón sintético.

### **1.5 - Métodos numéricos y computacionales en el diseño de herramientas para el conformado.**

En los procesos de conformados también tenemos presente las aplicaciones de la Inteligencia Artificial, la cual pretende modelar el comportamiento inteligente, principalmente el humano, con la intención de desarrollar sistemas con características y capacidades inteligentes similares.

Dentro de la inteligencia artificial encontramos varias herramientas como son

Algoritmos Genéticos, Redes Neuronales, Sistemas Expertos, Conjuntos Ásperos, Razonamiento Basado en Casos y Lógica Difusa. Una de las herramientas para el diseño del molde es el procesador CAPP (COMPUTER AIDED PROCESS PLANNING), O PLANIFICACIÓN DE PROCESOS ASISTIDA POR COMPUTADOR[15]

Es un sistema experto que captura las capacidades de un ambiente manufacturero específico y principios manufactureros ingenieriles, con el fin de crear un plan para la manufactura física de una pieza previamente diseñada. Este plan especifica la maquinaria que se ocupará en la producción de la pieza, la secuencia de operaciones a realizar, las herramientas, velocidades de corte y avances, y cualquier otro dato necesario para llevar la pieza del diseño al producto terminado. Para usar el CAPP más efectivamente en un entorno CIM, el diseño debería provenir electrónicamente de un ambiente CAD. Debido a que el CAPP determina cómo una pieza va a ser hecha, aporta en gran medida a la optimización del proceso y a la disminución de los costos, si tiene oportunidad de manejar los procesos de más de un diseño. El CAPP tiene dos tipos básicos: el variante y el generativo. El variante es el más comúnmente usado y desarrolla un plan modificando un plan previamente existente, eligiendo éste usando criterios de tecnología de grupos y de clasificación. El generativo incorpora el concepto de inteligencia artificial, usando sus conocimientos sobre las capacidades de la planta. Basado en la descripción de la pieza (geometría y material) y sus especificaciones, el computador elige el método óptimo para producir la pieza y genera automáticamente el plan.

CIM (Computer Integrated Manufacturing): Manufactura Integrada por Computadora es el uso integrado de técnicas en manufactura asistidas por computadora. Esto incluye CAD, CAE, CAM, etc. pero el termino es interpretado en una variedad de formas dependiendo del proveedor de soluciones CIM.

El Requisito principal de CIM es una base de datos central compartida que puede ser consultada por las diferentes disciplinas desplegadas durante el proceso de manufactura, como pueden ser diseño, desarrollo, manufactura, distribución, facturación, etc.

En la práctica, la automatización de la industria alcanza diferentes niveles y grados ya que la posibilidad concreta de su implementación en los procesos de fabricación industrial varia considerablemente según se trate de procesos de producción continua o en serie.

### **Conclusiones parciales.**

En este capítulo se aborda toda una serie de criterios sobre el proceso de conformado para moldes de inyección, incluyendo procesos de fabricación de la pieza, tipos de materiales que se pueden emplear, terminación de los moldes y artículos, recomendaciones de los sistemas de refrigeración, dimensiones determinante con rangos de tolerancias muy pequeños, los cuales permiten una excelente calidad de los productos. También se describe de forma breve los elementos que conforman un troquel, los cuales son de gran importancia para la construcción de los moldes, sobre ellos se mencionan sus principales operaciones y materiales utilizados. Estos aspectos y otros mas que se encuentran en la bibliografía se deben de tener presente para el diseño de los moldes de inyección, si se quiere lograr una adecuada fabricación.

Se hace una breve descripción de los diferentes métodos de fabricación de los moldes como son las maquinas de CNC, maquinas convencionales, algunos concepto de logística aplicados a estos procesos y aplicaciones de la inteligencia artificial. Toda una gama de recomendaciones que los tecnólogos, diseñadores e investigadores plantean en la literatura y que son de gran importancia para el diseño y fabricación de moldes.

## *Capítulo II*

## CAPÍTULO II: El diseño de moldes como caso particular de herramientas para el conformado de piezas.

### 2.1 - Características generales de los distintos sistemas de moldes.

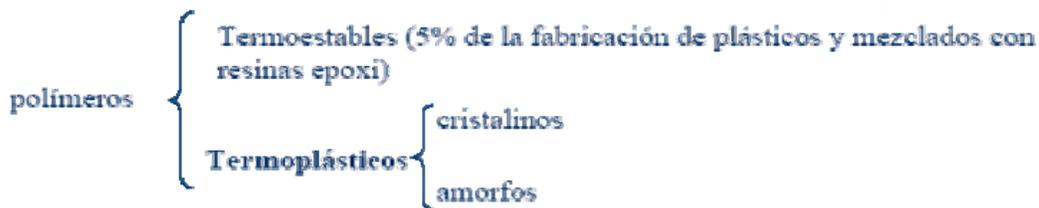
#### 2.1.1 – Materiales no metálicos para moldes.

En este epígrafe se realizará un estudio sobre los materiales no metálicos, específicamente los polímeros, abordando funciones, características químicas, físicas y tecnológicas, para los diferentes tipos de moldes. Por tanto que es un Polímero:

**Polímeros:** Es un compuesto (macromolecular) formados por la unión de muchas unidades repetidas llamadas monómeros.

Su nombre se deriva del Griego poli que significa mucho y de meros que significa unidad. Dentro del grupo de los polímeros se encuentra los plásticos, las fibras y los elastómeros. En este trabajo solo abordaremos los plásticos utilizados en los moldes de inyección.

Estos polímeros que se trabajan en los moldes se clasifican por su comportamiento ante la temperatura y por su estructura tal como se muestra a continuación, ahí se pueden ver dos grandes grupos, los Termoestables y los Termoplásticos:[10]



**Los termoestables** son aquellas resinas que al aplicarle la temperatura forman una estructura con enlace tipo red, este tipo de enlace produce que al calentarlos nuevamente se quemen en lugar de reblandecerse, este tipo de material no se puede recuperar, no es reciclable, ejemplo Fenol Formaldehído y Melamina Formaldehído.

**Los termoplásticos** son aquellas resinas que al aplicarle la temperatura se reblandece, posteriormente al enfriarse recuperan sus propiedades iniciales pudiéndolas calentarlas nuevamente por lo que son recuperables, ejemplo Polietileno, polipropileno, ABS. Los polímeros termoplásticos se componen de largas cadenas producidas al unir moléculas pequeñas o monómeros y típicamente se comportan de una manera plástica y dúctil. Al ser calentados a temperaturas elevadas, estos polímeros se ablandan y se conforman por flujo viscoso. Los polímeros termoplásticos se pueden reciclar con facilidad. El polietileno, el polipropileno, el cloruro de polivinilo (PVC) y el poliisopropeno tienen estructura cristalina ortorrómbica. Algunos polímeros son polimorfos, es decir tienen más de una estructura cristalina.[10, 14]

Anteriormente se mencionó que existían dos clasificaciones para los polímeros termoplásticos, los cristalinos y amorfos. Veamos algunas de sus características.

**Los termoplásticos cristalinos** al enfriarse, sus cadenas tienden a enlazarse muy ordenadamente por lo que se produce un empaquetamiento muy ordenado. A éste empaquetamiento ordenado se le denomina cristalización.

Podemos comparar éste proceso con lo que pasa con los minerales (Cuarzo, Diamante etc.) que sus moléculas tienen un ordenamiento muy alto, es decir, alta cristalización. Vemos que ofrecen formas muy definidas en su aspecto externo.

**Los termoplásticos amorfos** es todo lo contrario a los cristalinos. Las cadenas no mantienen ningún orden aparente durante su enfriamiento. El empaquetamiento es mucho menor que en los Cristalinos.

En la tabla 2.1 que se muestra a continuación se expone una comparación entre los polímeros termoplásticos amorfos y cristalinos.[14]

<b>AMORFOS</b>	<b>CRISTALINOS</b>
- Normalmente transparentes	- Opacos
- Resistencia mecánica media	- Resistencia mecánica alta
- Poca resistencia a la fatiga	
- Temperatura de fusión definida	- Intervalo de fusión muy definido y estrecho. (3 - 4 °C)
- Bajas contracciones de moldeo	- Altas contracciones de moldeo

Tabla 2.1: Diferencia entre polímeros termoplásticos amorfos y cristalinos.

Ya visto que materiales no metálicos se usan para el proceso de conformación por inyección y su clasificación a continuación se mencionan algunas de sus **propiedades**. [12]

Los polímeros termoplásticos son materiales ligeros resistentes a la corrosión de baja resistencia y rigidez y no son adecuados para uso a temperaturas altas.

- **Comportamiento elástico:** En los polímeros termoplásticos la deformación elástica es el resultado de dos mecanismos. Un esfuerzo aplicado hace que se estiren y distorsionen los enlaces covalentes de las cadenas, permitiendo que estas se alarguen elásticamente. Al eliminar el esfuerzo se recupera de esta distorsión prácticamente de manera instantánea. Además, se pueden distorsionar segmentos completos de cadenas de polímeros; al eliminar el esfuerzo los segmentos volverán a su posición original solo después de un periodo de horas o incluso meses. Este comportamiento viscoelástico, dependiente del tiempo puede contribuir en algo al comportamiento elástico no lineal.

- **Comportamiento plástico:** Los polímeros termoplásticos se deforman plásticamente cuando se excede al esfuerzo de cedencia. Sin embargo, la deformación plástica no es una consecuencia de movimiento de dislocación. En lugar de eso, las cadenas se estiran, giran, se deslizan bajo la carga, causando una deformación permanente. Debido a este fenómeno se puede explicar la reducción de esfuerzo más allá del punto de cedencia.

- **Viscoelasticidad:** La capacidad de un esfuerzo para provocar el deslizamiento de cadenas y la deformación plástica esta relacionada con el tiempo y la rapidez de deformación. Si el esfuerzo se aplica lentamente, las cadenas se deslizan fácilmente una al lado de otra; si se aplica con rapidez, no ocurre deslizamiento y el polímero se comporta de manera frágil. La dependencia de las deformaciones elásticas y plásticas de los termoplásticos con el tiempo se explica mediante el comportamiento viscoelástico del material. A bajas temperaturas o bajas velocidades de carga el polímero se comporta como cualquier otro material sólido, como los metales o los cerámicos. En la región elástica el esfuerzo y la deformación están directamente relacionados. Sin embargo, a altas temperaturas o a bajas velocidades el material se comporta como liquido viscoso. Este comportamiento viscoelástico ayuda a explicar porque el polímero se deforma bajo carga y también permite conformar el polímero convirtiéndole en productos útiles. La viscosidad del polímero describe la facilidad con que la cual las cadenas se mueven causando deformación.

- **Termofluencia:** En los polímeros amorfos la energía de activación y la viscosidad son bajas y el polímero se deforma con esfuerzos reducidos. Cuando al polímero se le aplica un esfuerzo constante sufre con rapidez una deformación, conforme los segmentos de cadena se deforman. A diferencia de los metales y de los cerámicos la deformación no llega a un valor constante, en vez de ello, debido a la baja viscosidad de la deformación sigue incrementándose con el tiempo, conforme a las cadenas se deslizan lentamente una al lado de la otra. Esta condición describe la termofluencia del polímero y ocurre en algunos polímeros, incluso en temperaturas ambiente. La velocidad de termofluencia se incrementa ante esfuerzos y temperaturas superiores (reduciendo la viscosidad).

- **Impacto:** El comportamiento viscoelástico también ayuda a comprender las propiedades al impacto de los polímeros. A muy altas velocidades de deformación, como en una prueba de impacto, no hay tiempo suficiente para que las cadenas se deslicen causando deformación plástica. En estas circunstancias, los termoplásticos se comportan de manera frágil y tienen valores pobres al impacto. A bajas temperaturas en un ensayo al impacto se observa el comportamiento frágil en tanto que a temperaturas más elevadas donde las cadenas se mueven con mayor facilidad, se observa un comportamiento más dúctil.

- **Corrosión:** El ataque por una diversidad de insectos y microbios es una forma de corrosión en los polímeros. El polietileno, el propileno y el poliestireno son resistentes a este tipo de corrosión. Sin embargo algunos como los poliésteres y el cloruro de polivinilo plastificado (PVC) son particularmente vulnerables a la degradación microbiana. Estos polímeros se pueden descomponer por radiación o ataque químico en moléculas de bajo peso molecular hasta que son lo suficientemente pequeños para ser ingerido por los microbios. Además se producen polímeros especiales que se degradan con rapidez, un ejemplo de esto es un copolímero del polietileno y el almidón.

- **Oxidación y Degradación Térmica de los Polímeros:** Los polímeros se degradan al ser calentados y al ser expuestos al oxígeno. Una cadena de polímeros puede romperse, produciendo dos macrorradicales. En los polímeros termoplásticos más flexibles particularmente en polímeros amorfos en vez de cristalinos, no ocurre recombinación y el resultado es la reducción en el peso molecular, en la viscosidad y en las propiedades mecánicas del polímero.

- **Fractura:** Los polímeros pueden fallar ya sea por mecanismo dúctil o por mecanismo frágil. Por debajo de la temperatura de transición vítrea, los polímeros termoplásticos fallan en modo frágil, de manera muy parecida a los vidrios cerámicos. Sin embargo por encima de la temperatura de transición vítrea fallan en forma dúctil, con evidente deformación extensa e incluso extricción antes de la falla.

- **Propiedades Ópticas:** Desde el punto de vista de su utilización, las propiedades ópticas más interesantes de los materiales plásticos, son las relacionadas con su capacidad de transmitir la luz, la transparencia, tomar color y disponer de brillo, que proporcionan a los objetos fabricados una apariencia visual estética de alta calidad.

- **Propiedades Térmicas:** Los polímeros industriales son malos conductores de calor. Su conductividad térmica es similar a la de la madera y muy inferior a la del vidrio. El fenómeno de la transición del calor por conducción de los materiales no metálicos en los que no existen los electrones móviles, puede considerarse como la transición del movimiento vibratorio de unos átomos de mayor nivel energético continuos; esta transmisión resulta mucho más fácil cuando su estructura es cristalina, estando dispuesto los átomos ordenadamente en el espacio, que en los materiales amorfos.

- **Propiedades Eléctricas:** Los polímeros termoplásticos son materiales aislantes pero algunos polímeros termoplásticos complejos como el acetal poseen una conductividad térmica útil.

- **Permeabilidad a los gases y vapores:** La utilización de los plásticos en el envasado de productos que pueden deteriorarse en contacto con el oxígeno o el vapor de agua atmosférico (como es el caso de los aceites vegetales que se enrancian si en el envase no es suficiente impermeable al oxígeno) y también de líquidos que deben mantener disueltos gran cantidad de gases (como las bebidas carbónicas o gaseosas) obligan a considerar el fenómeno de la permeabilidad de los gases y vapores a través de los filmes de materiales plásticos, pues es la forma mas generalizada de su empleo como envases.

- **Estabilidad a las altas temperaturas:** Una limitación del uso de los materiales plásticos convencionales se debe principalmente a la perdida de las características físicas que tienen lugar a temperaturas relativamente bajas, a veces muy por debajo de los 200°C, para exposiciones de larga duración. A esas temperaturas ya es perceptible una cierta degradación química: las

cadena molecular se fusionan reduciendo progresivamente el peso molecular; se separan moléculas sencillas originadas por condensación (HCl por ejemplo en el PVC) y otros residuos orgánicos volátiles y en contacto con el aire se verifica una oxidación acelerada que progresa según mecanismo de peroxidación mediante radicales libres. A partir de los 400 °C la degradación de los polímeros orgánicos es muy rápida, con reacciones propias de pirólisis originándose gran cantidad de residuos volátiles, que, en presencia de oxígeno, arden con aspecto de llama. La combustión de los plásticos produce gran cantidad de humos y gases tóxicos como el CO, HCl e incluso, el fosgeno (cuando arden polímeros a base de hidrocarburos clorados en determinadas circunstancias).

- **Resistencia a los disolventes y radiactivos químicos:** En general puede afirmarse que los enemigos de los plásticos son los disolventes, por una parte, y los ácidos, bases y los oxidantes fuertes, por la otra. En ambos casos las propiedades físicas del polímero resultan gravemente afectadas.

- **Mezclas y Aleaciones:** Es posible mejorar las propiedades mecánicas de muchos termoplásticos por medio de mezclas y aleaciones. Al mezclar un elastómero no miscible con el termoplástico se produce un polímero de dos fases, como en el ABS. El elastómero no se introduce en la estructura como un polímero pero en cambio contribuye a absorber la energía y a mejorar la tenacidad. Los policarbonatos utilizados para construir cabinas transparentes de aeronaves son endurecidos de esta manera mediante elastómeros.

Es importante destacar la importancia que tienen las propiedades de estos materiales y la forma que puedan existir de mejorarlas. Según sean esas propiedades será su aplicación. A continuación veremos algunas de sus **aplicaciones**.<sup>[1]</sup>

Los polímeros se utilizan en un número sorprendente de aplicaciones, incluyendo juguetes, aparatos domésticos, elementos estructurales y de decorativos, recubrimiento, adhesivos, llantas de automóvil y empaques.

El polietileno se usa para producir películas para empaque, aislamiento de conductores, botellas blandas, recubrimiento de extrusión, cortinas, manteles, cubiertas para la construcción, estanques, invernaderos, bolsas de basura, tuberías y elementos caseros.

El cloruro de polivinilo o más conocido como el PVC se utiliza para fabricar tuberías, válvulas, coples, loseta de piso, aislamiento para conductores, y techos de vinil para automóviles.

El polipropileno se utiliza para la fabricación de tanques, aplicación en el moldeo por inyección de piezas de electrodomésticos, utensilios pequeños, piezas de automóviles, fibras para alfombras, cuerdas y empaques.

El poliestireno se utiliza para la fabricación de empaques y espumas aislantes, paneles de iluminación, copolímeros resistentes al calor y al impacto, piezas ópticas de plástico, juguetes, componentes de aparatos y rejillas para huevos.

El poliácridonitrilo (PAN) se utiliza para la fabricación de fibras textiles, precursor para fibras de carbón y recipientes de alimento.

El polimetilmetacrilato (PMMA), (acrilicople siglas) se utiliza para la fabricación de ventanas, parabrisas, recubrimientos, lentes de contacto rígidos, señalizaciones iluminadas internamente.

El policlorotrifluoroetileno se utiliza para la fabricación de componentes para válvulas, juntas, tuberías y aislamiento eléctrico.

El politetrafluoroetileno más conocido como el teflón se utiliza para la producción de sellos, aislantes para cables, aislamientos de motores, aceites, transformadores, generadores, acondicionamiento de la estanqueidad de válvulas, válvulas y recubrimientos no adherentes.

El Polioximetileno (acetal) (POM) se utiliza en la fabricación de accesorios de plomería, plumas, engranes y aspas de ventilador.

La Poliamida (PA) más conocido como nylon es utilizado en la fabricación de cojines, engranajes, fibras, cuerdas, componentes de automotores y componentes eléctricos. La Poliamida (PI) se utiliza en la fabricación de adhesivos, tableros de circuitos y fibras para transbordadores espaciales.

El poliéster es utilizado por la fabricación de fibras, películas fotográficas, cintas de grabación, contenedores de agua caliente y recipientes para bebidas. La cinta magnética para aplicaciones de video y audio se produce mediante evaporación, pulverización o recubrimiento de partículas de un material magnético como el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sobre la superficie de una cinta de poliéster.

El policarbonato se utiliza para la fabricación de carcasas eléctricas y aparatos, componentes automotrices, cascos de fútbol americano y botellas retornables.

La polietereterketona (PEEK) se utiliza para la fabricación de alimentos y recubrimientos eléctricos de alta temperatura.

El sulfuro de polifenileno (PPS) se utiliza para la fabricación de recubrimientos, componentes para manejos de fluidos, componentes electrónicos y componentes para secadores de pelo.

La sulfona de poliéster (PES) se utiliza para la fabricación de componentes eléctricos, cafeteras, secadores eléctricos y componentes de hornos microondas.

La poliamidaimida (PAI) se utiliza para la fabricación de componentes electrónicos, aplicaciones aeroespaciales y automotrices.

Los fenolicos se utilizan en la fabricación de adhesivos, y recubrimientos laminados.

Las aminas se utilizan en la fabricación de adhesivos, utensilios de cocina, y moldes eléctricos.

Los epóxidos se utilizan para la fabricación de adhesivos moldes eléctricos, y matrices para materiales compuestos.

Los uretanos se utilizan para la fabricación de fibras, recubrimientos y espumas. La silicona se utiliza como adhesivo, y como selladores.

### **2.1.2 - Diferentes tipos de moldes.**

Ya visto hasta ahora los diferentes tipos de materiales que se usan en los procesos de conformado de plástico por inyección, algunas de sus propiedades y aplicaciones veremos entonces algunos tipos de moldes utilizados en estos procesos.

#### **- Moldes de dos placas:**

Los moldes de dos placas o A y B son los más sencillos y comunes de todos los tipos de moldes. Estos moldes utilizan un lado A estacionario y un lado B móvil.

La granza fundida se inyecta por medio de una corredera en el lado A y a lo largo de un sistema de colada entra a la cavidad o cavidades del molde.

#### **- Moldes de tres placas:**

Los moldes de tres placas son una modificación del sistema de dos placas en la cual se añade una placa central entre las placas móvil y estacionaria. La placa central aísla la corredera y el sistema de colada, de las piezas. El sistema de colada se forma entre la placa estacionaria y la central, y las piezas moldeadas se forman entre la placa central y la móvil.

Al abrirse el molde, las piezas permanecen en la placa móvil y se expulsan desde ahí. Sin embargo, el sistema de colada y la corredera se separan de las piezas moldeadas y permanecen entre las placas central y estacionaria. Un sistema expulsor accionado por resortes que se encuentra en la placa central expulsa la colada.

Existen varios aspectos de este sistema que lo hacen más ventajoso que el sistema de dos placas. En primer lugar, el corte de los puntos de inyección se realiza durante el proceso de expulsión de la pieza, no como una operación secundaria. En segundo lugar, existe mucha mayor libertad para seleccionar el número y ubicación de los puntos de inyección por medio de la colocación de los conos de inyección a través de la placa central. Se pueden colocar puntos de inyección en varios sitios de las piezas más grandes para facilitar el llenado.[12]

Dichos moldes para inyección se **clasifican** teniendo en cuenta diferentes aspectos tal como se muestra a continuación:

Según el número de bloques:

Moldes de dos bloques

Moldes de tres bloques sencillos

Moldes de tres bloques con dos niveles

Según sistemas de alimentación de las cavidades del molde:

Moldes con alimentación directa sencilla

Moldes con alimentación directa con precámara

Moldes con alimentación indirecta (lateral y central)

Moldes con canales aislados

Moldes con canales calientes

Según sistemas de extracción de los productos moldeados:

Moldes con varillas extractoras (extractores sencillos, con extremo cónico, con camisa y lámina).

Moldes con placas extractoras

Moldes con extracción por tirante (cadenas, barras, tirantes telescópicos).

Moldes con extracción por aire comprimido

Moldes con extracción por desenrosque (con cremallera, con motor, con tornillo sin fin móvil y fijo).

## **2.2 - Diseño de los elementos constructivos.**

Antes de iniciar cualquier diseño de moldes de inyección debemos analizar primeramente los tres elementos fundamentales que intervienen en el proceso, (**producto, máquina y molde**). El análisis de estos tres elementos definirá el tipo de molde a diseñar. No hay que olvidar que existe una estrecha relación entre ellos.

### **Producto:**

Ahora mencionaremos los pasos a seguir para el diseño de los diferentes productos plásticos y una breve explicación de algunos de ellos. El orden de ejecución o análisis no es obligatoriamente el que se expone, ni todos los pasos son necesarios para todos los casos.

- Determinación de la cantidad de productos necesarios.
- Selección del material plástico.
- Determinación de la configuración (forma del producto).
- Determinación de la geometría del producto.
- Determinación de la ubicación de la inyección.
- Determinación del espesor de la pared mínimo.

- Determinación de la conicidad de desmoldeo.
- Determinación sobre los insertos de otros materiales.
- Calculo del área proyectada.
- Calculo del volumen y peso del producto.
- Determinación de la elaboración ulterior.

**- Determinación de la cantidad de productos necesarios.**

Este dato depende de las necesidades del cliente y es de gran importancia, pues define la productividad, tamaño, tipo de molde a diseñar y selección de la maquina a utilizar. También es importante el plazo del tiempo para cumplimentar el pedido. Todo lo anterior define el rendimiento a obtener de la producción.

A continuación se relaciona las conversiones de, productos/mes a productos/minuto para 3.2 y 1 jornada de trabajo de 7 horas y 24 días laborables al mes.

Llamaremos  $V_c$  a la cantidad de productos por minuto que necesitaremos producir.

$$3.29 * 10^{-5} \frac{prod}{mes} = \frac{prod}{min} = V_{c_3} \text{ (Para tres jornadas de trabajo)} \quad (1)$$

$$4.95 * 10^{-5} \frac{prod}{mes} = \frac{prod}{min} = V_{c_2} \text{ (Para dos jornadas de trabajo)} \quad (2)$$

$$9.9 * 10^{-5} \frac{prod}{mes} = \frac{prod}{min} = V_{c_1} \text{ (Para una jornada de trabajo)} \quad (3)$$

**- Determinación de la configuración (forma del producto).**

La forma de la pieza esta dada por la necesidad del cliente. Si se trata del diseño de un nuevo producto o el rediseño de uno ya elaborado hay que tener en cuenta lo siguiente.

Selección de la materia prima: para realizar una óptima selección se deben conocer ampliamente las propiedades de los plásticos, tal como se estudia en el epígrafe 2.1.

Consideraciones prácticas en el diseño del producto: siempre se debe procurar que el producto sea fácil de producir teniendo en cuenta los equipos y medios de producción de la planta procesadora y del taller que fabricará el molde. Teóricamente se puede fabricar cualquier tipo de pieza con materiales plasticos, por muy complicada que sea su forma, pero antes el diseño se debe estudiar las dificultades que se tendrán al fabricar el producto, mayor tiempo de fabricación del molde, menor velocidad de producción del producto, dificultad de desmoldeo, operaciones de acabado posterior, etc.

Línea de partición: es aquella por donde las dos mitades del molde (macho y hembra) se abren para permitir la salida del producto. El uso de líneas de partición rectas permite una limpieza y pulido fáciles. Un buen diseño minimiza los costos de limpieza y acabado. Los moldes que poseen líneas de partición rectas cuestan mucho menos que los que poseen líneas de particiones curvas o irregulares.

Moldeabilidad: cualquiera que sea el proceso a utilizar en la fabricación del producto exigirá que este se pueda desmoldear con facilidad. La experiencia demuestra que todas las superficies del artículo en la dirección de moldeo deben ser cónicas con ángulos positivos. La poca conicidad conduce a la destrucción de la superficie moldeada hasta la deformación del artículo.

Por lo general se aplica las siguientes conicidades.

- En piezas grandes hasta un 5% (3 grados)
- En piezas pequeñas y medianas (0.2 y 1)%
- Para piezas normalizadas nunca menos de 1.7% (1 grado)

En el anexo 7 se muestra la relación de conicidad de una pieza en función de la profundidad.

Esesor de la pared: en el diseño del producto se debe comprobar que las paredes tengan igual espesor y que este sea el más adecuado con relación al plástico que se va utilizar en la fabricación de dicho producto. Los termoplásticos por ejemplo, fluyen dificultosamente. Si la pieza tiene espesores muy delgados, el llenado se efectuara de forma irregular y la pieza quedara frágil. Si la selección es muy gruesa no habrá economía de materia prima y el tiempo de fabricación aumentara.

Por otra parte si el producto presenta diferencias de espesor de una sección a otra (figura 2.1) se ocasionarán problemas de flujos de material plástico, se presentarán tenciones internas en las esquinas de las secciones irregulares y la pieza puede alabearse o presentar diferencias de contracción que se reflejan en marcas, depresiones o rechupes, que maltratan la buena presencia del producto.

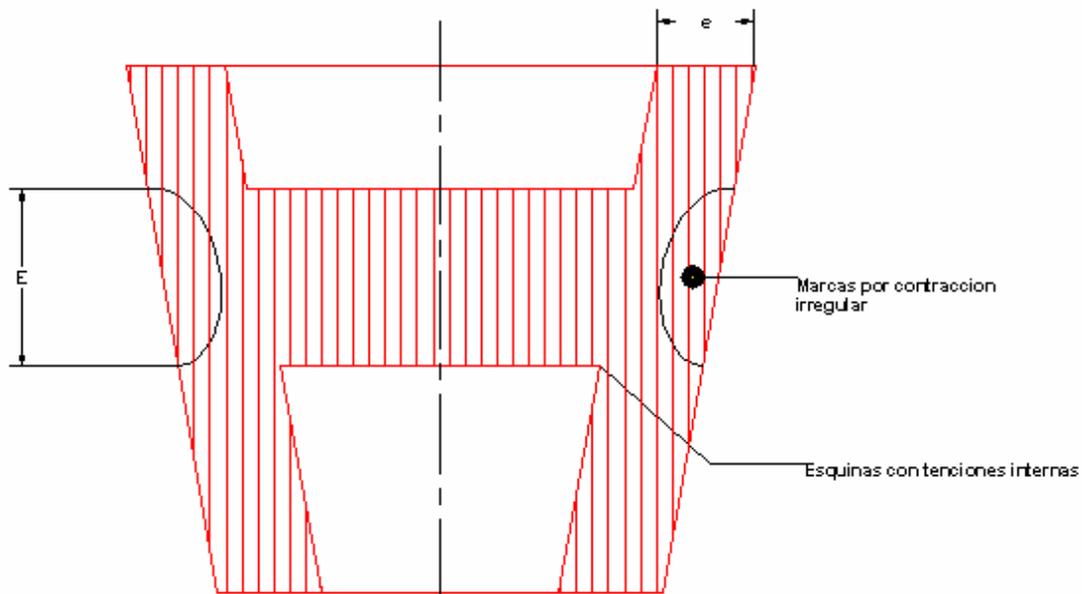


Figura 2.1: Cuando hay diferencia de espesor (E es mayor e) se presentan depresiones denominadas rechupes.

Para la determinación del espesor de pared debemos analizar los siguientes requerimientos:

Requerimientos de uso:

1. Forma
2. Peso
3. Resistencia
4. Aislamiento
5. Estabilidad dimensional

Requerimientos de fabricación:

1. Moldeo
  - a. fluidez
  - b. solidificación
  - c. extracción
2. Ensamblaje
  - a. resistencia
  - b. precisión

Para el proceso de inyección, espesores mayores de 8 mm e inferiores a 0.7 - 0.5 mm no son recomendables y deben evitarse. Los espesores de pared delgados se requiere de gran precisión del molde lo que encarece considerablemente su construcción.

Para inyección se recomienda.

- Espesores de pared normal 1.....3 mm
- Espesores de pared de artículos grandes 3.....6 mm

En el anexo 8 se muestran los espesores de pared recomendados para diferentes materiales termoplásticos y termoestables respectivamente.

No obstante los espesores de pared pequeños para el proceso de inyección pueden ser calculados para materiales de buena fluidez por la siguiente fórmula.

$$S_{\min} = \left( \frac{L_f}{100} + K_1 \right) K_2 (mm) \quad (4)$$

Donde.

$S_{\min}$ . Espesor de pared mínimo en milímetro.

$L_f$ : Longitud del camino a recorrer por el plástico en el producto en mm.

$K_1$ : 0.5

$K_2$ : 0.6

Recomendaciones de las contracciones, nervaduras, ángulos y radios: Este aspecto fue analizado en el primer capítulo, en él se hace referencia al principal problema que influye en la precisión del molde. Los diferentes factores que afectan las dimensiones debidas a la contracción del producto moldeado (temperatura, presión, tiempo de enfriamiento, entre otros).

Cuando se diseña un producto, debe tenerse en cuenta que los materiales plásticos, se contraen después de procesados, la contracción varía según el plástico utilizado y según el método de fabricación de los productos. El diseñador debe tener en cuenta también que los productos plásticos después de extraídos del molde continúan el proceso de contracción aunque en una proporción mínima. [12]

Debe tenerse en cuenta que la razón de este fenómeno se debe al cambio de densidad del material, que sigue un propio comportamiento fisicoquímico, particular para cada polímero, y que puede ser isótropo o anisótropo.

De acuerdo con las relaciones de P, V y T que aparecen en el anexo 9, se infiere que la parte moldeada sufrirá una contracción, presentando cada polímero diferentes tipos de contracción; sin embargo, puede decirse que, en general, siguen las mismas ecuaciones para contracción isótropa:

$$C_v = \frac{V_c - V_{mp}}{V_c} = 1 - \frac{V_{mp}}{V_c} \quad (5)$$

$$C_L = \frac{L_c - L_{mp}}{L_c} = 1 - \frac{L_{mp}}{L_c} \quad (6)$$

$$C_v \approx 3 \times C_L \quad (7)$$

Donde:

$L_c$  = longitud de la cavidad

$L_{mp}$  = longitud de la parte moldeada

$C_v$  = contracción volumétrica

$C_L$  = contracción lineal

$V_c$  = Volumen de la cavidad

$V_{mp}$  = Volumen de la parte moldeada

Los polímeros semicristalinos modificarán más su tamaño dependiendo de la temperatura en la cual se les permita cristalizar. Las cadenas que forman esferulitas y lamelas ocupan menos espacio (mayor densidad) que las cadenas en estado amorfo. Por ello, el grado de cristalinidad afecta directamente a la densidad final de la pieza. La temperatura del molde y el enfriamiento deben ser los adecuados para obtener partes de calidad.

A continuación se enumeran algunos valores comunes de contracción en polímeros para inyección (para diseño de moldes es conveniente solicitar una hoja de parámetros técnicos del proveedor de polímeros para obtener un rango específico).

<b>Termoplástico</b>	<b>Contracción (%)</b>
Acrylonitrilo butadieno estireno	0,4 – 0,8
Poliacetal	0,1 – 2,3
Polimetilmetacrilato (PMMA)	0,2 – 0,7
Acetato de celulosa	0,5
Nylon 6,6	1,4 – 1,6
Polycarbonato	0,6
Poliétileno de baja densidad	4,0 – 4,5
Polipropileno	1,3 – 1,6
Poliestireno	0,4 – 0,7
PVC RIGIDO	0,6 – 1,2
PVC plastificado	1,0 – 4,5

Tabla 2.2: Contracción en polímeros para inyección.

A continuación, en las figuras 2.2 a la 2.5, se muestra como se deben diseñar estos parámetros.

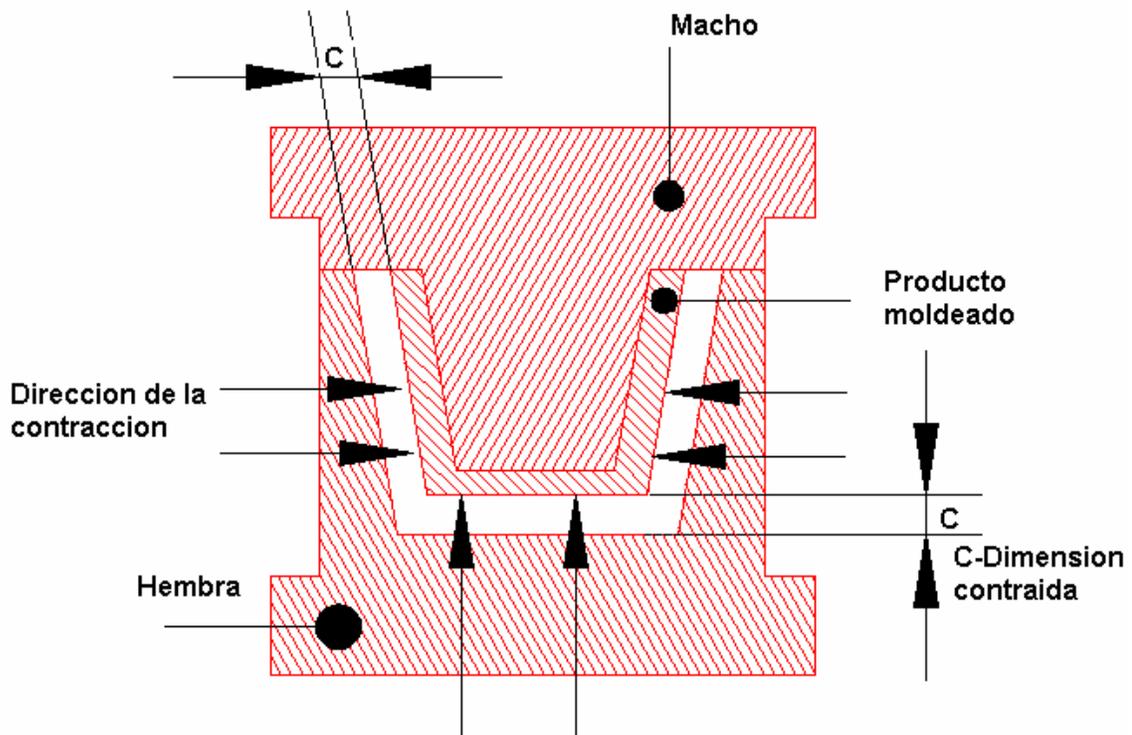


Figura 2.2: La contracción del plástico moldeado se produce de afuera hacia adentro adhiriéndose firmemente al macho.

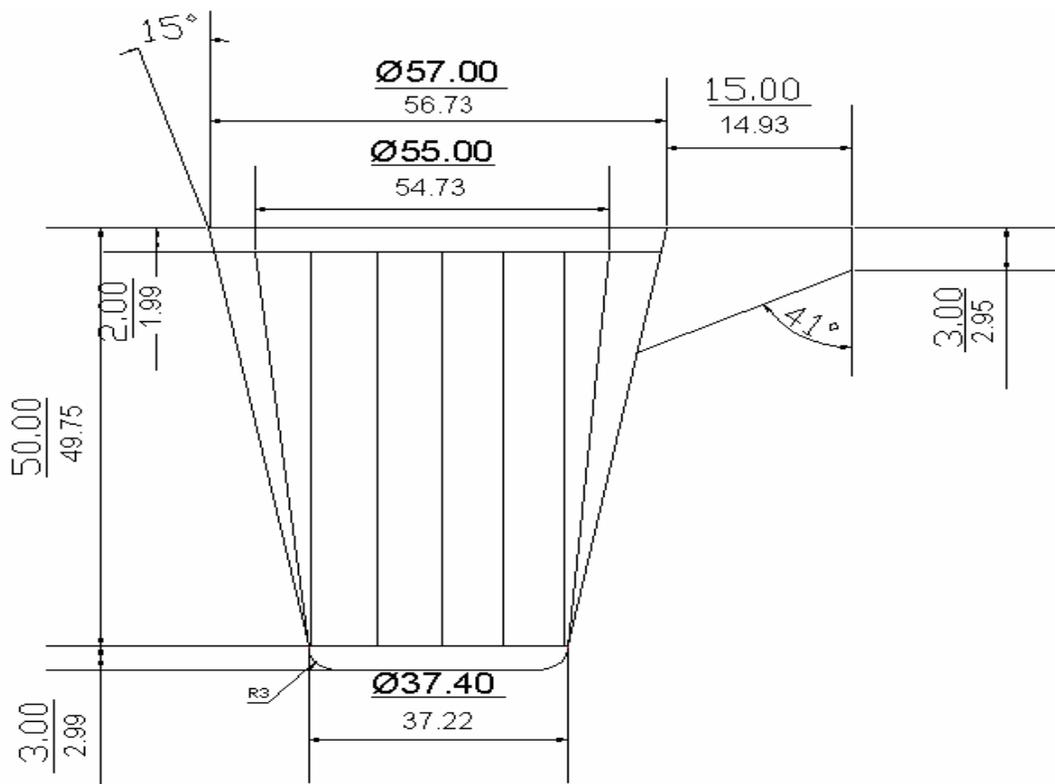


Figura 2.3: Las cotas subrayadas corresponden a las dimensiones del molde y la otra al producto.

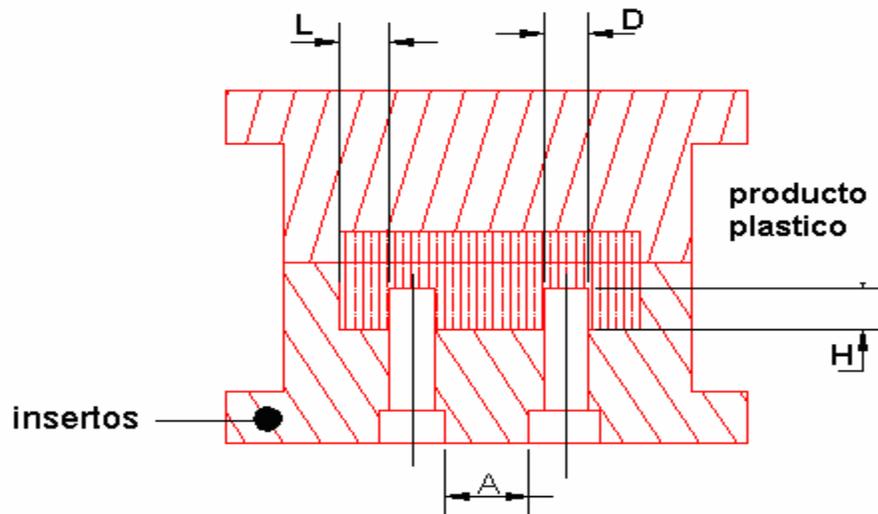


Figura 2.4: Dimensiones de los insertos para orificios no pasantes de diámetro D. En este caso los insertos se apoyan en solo lado del molde.  $H = KD$ ;  $K = 2.5$  (inyección);  $K = 1.5$  (compresión);  $L = D$ ;  $A = D/2$  (inyección);  $A = D$  (compresión)

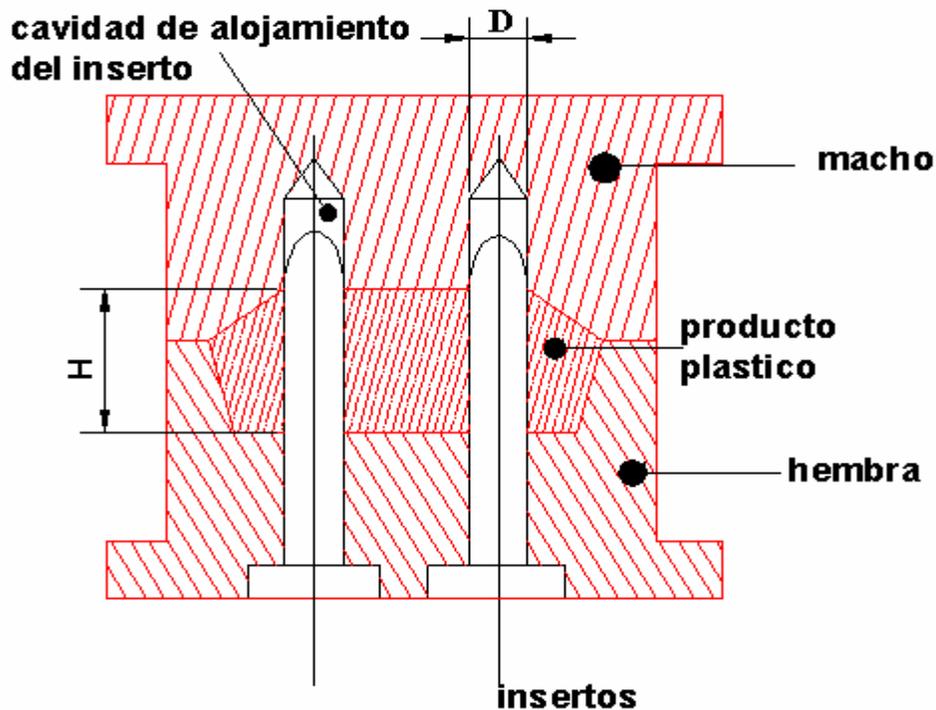


Figura 2.5: Dimensiones de los insertos para orificios pasantes. Los insertos se apoyan en las dos mitades del molde (macho y hembra).  $H = K \cdot D$ ; H – altura de orificio; D – Diámetro del inserto;  $K = 5$  (inyección);  $K = 3$  (compresión)

- **Determinación de la ubicación de la inyección:** La ubicación de la inyección depende de varios factores como, la geometría del producto, forma del producto, necesidad de productividad a obtener en el molde, material plástico, posibilidades tecnológicas del taller de construcción de molde, etc.

- **Cálculo del área proyectada:** Normalmente los productos poseen formas complejas. En esos casos es necesarios utilizar las fórmulas del área de la figura geométrica correspondiente que se encuentra en las tablas matemáticas. En casos extremos es posible utilizar plantillas del producto, papel cuadrulado, etc.

- **Cálculo del volumen y peso:** Por el dibujo se puede calcular el volumen del producto. Multiplicando el peso específico se determina el peso del producto. Si estamos en posesión de una muestra, pesándola se determina el peso y dividiéndola por el peso específico se determina el volumen.

Si la muestra se ha tomado de otro material diferente al que mas tarde va a emplearse mediante el peso y el peso específico de la muestra determinamos el volumen. Con el volumen y el peso específico del material a utilizar se determina el peso correcto del futuro producto. [12]

### **Máquina:**

Otro elemento fundamental que interviene en el proceso es la máquina. Sus partes más importantes son:

- Unidad de inyección: La función principal de la unidad de inyección es la de fundir, mezclar e inyectar el polímero. Para lograr esto se utilizan husillos de diferentes características según el polímero que se desea fundir. Para el estudio del proceso de fusión de un polímero en la unidad de inyección deben considerarse tres condiciones termodinámicas:

- La temperatura de procesamiento del polímero.
- La capacidad calorífica del polímero  $C_p$  [cal/g °C].
- El calor latente de fusión, si el polímero es semicristalino.

En el anexo 10 se muestra un diseño genérico de la unidad de inyección.

- Unidad de cierre: Es una prensa hidráulica o mecánica, con una fuerza de cierre bastante grande que contrarresta la fuerza ejercida por el polímero fundido al ser inyectado en el molde. Las fuerzas localizadas pueden generar presiones del orden de cientos de MPa, que sólo se encuentran en el planeta de forma natural únicamente en los puntos más profundos del océano.

Si la fuerza de cierre es insuficiente, el material escapará por la unión del molde, causando así que el molde se tienda a abrir. Es común utilizar el área proyectada de una pieza (área que representa perpendicularmente a la unidad de cierre el total de la cavidad) para determinar la fuerza de cierre requerida, excluyendo posibles huecos o agujeros de la pieza.[16]

$$F = P_m \times A_p \quad (8)$$

Donde:

F = Fuerza (N)

$P_m$  = Presión media (Pa)

$A_p$  = Área proyectada ( $m^2$ )

Control de parámetros: El ciclo de inyección se puede dividir en las siguientes etapas:

**1. Cierre del molde:** Se cierra el molde vacío, mientras se tiene lista la cantidad de material fundido para inyectar dentro del barril. El molde se cierra en tres pasos: primero con alta velocidad y baja presión, luego se disminuye la velocidad y se mantiene la baja presión hasta que las dos partes del molde hacen contacto, finalmente se aplica la presión necesaria para alcanzar la fuerza de cierre requerida según se muestra en la figura 2.6.

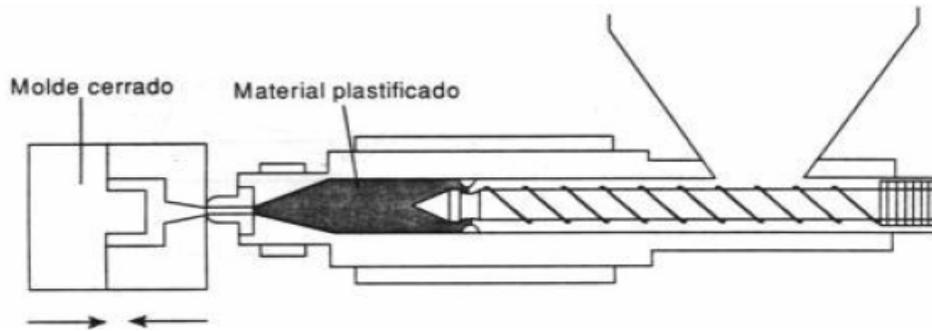


Figura 2.6: Etapa de cierre del molde.

**2. Inyección:** El tornillo inyector el material, actuando como pistón, sin girar, forzando el material a pasar a través de la boquilla hacia las cavidades del molde con una determinada presión de inyección. (Figura 2.7)

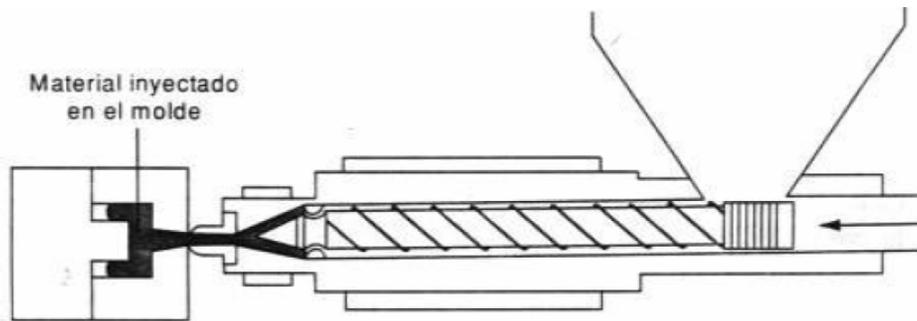


Figura 2.7: Etapa de inyección del molde.

**3. Presión de sostenimiento:** Al terminar de inyectar el material, se mantiene el tornillo adelante aplicando una presión de sostenimiento antes de que se solidifique, con el fin de contrarrestar la contracción de la pieza durante el enfriamiento. La presión de sostenimiento, usualmente, es menor que la de inyección y se mantiene hasta que la pieza comienza a solidificarse. (Figura 2.8)

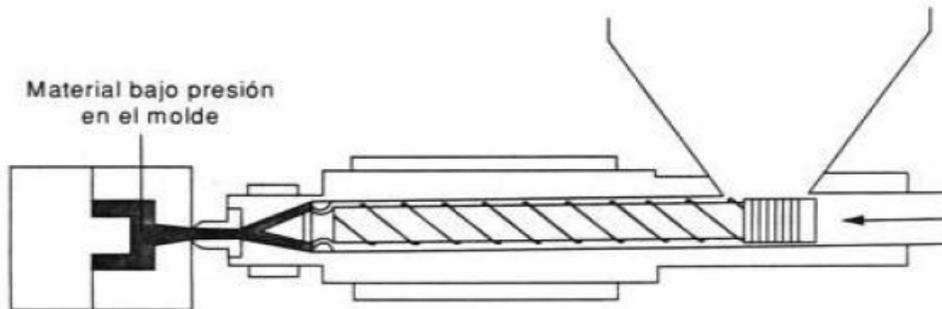


Figura 2.8: Etapa de baja presión en el molde.

**4. Nueva Plastificación:** El tornillo gira haciendo circular los gránulos de plástico desde la tolva y plastificándolos. El material fundido es suministrado hacia la parte delantera del tornillo, donde se desarrolla una presión contra la boquilla cerrada, obligando al tornillo a retroceder hasta que se acumula el material requerido para la inyección. (Figura 2.9)

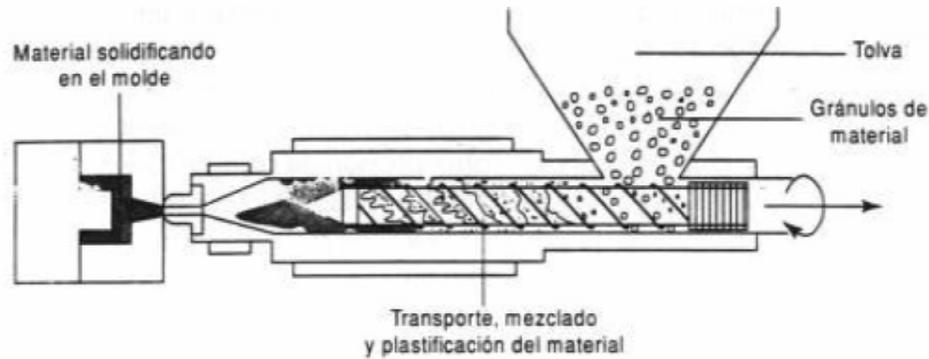


Figura 2.9: Etapa de nueva plastificación.

**5. Extracción:** El material dentro del molde se continúa enfriando en donde el calor es disipado por el fluido refrigerante. Una vez terminado el tiempo de enfriamiento, la parte móvil del molde se abre y la pieza es extraída. (Figura 2.10)

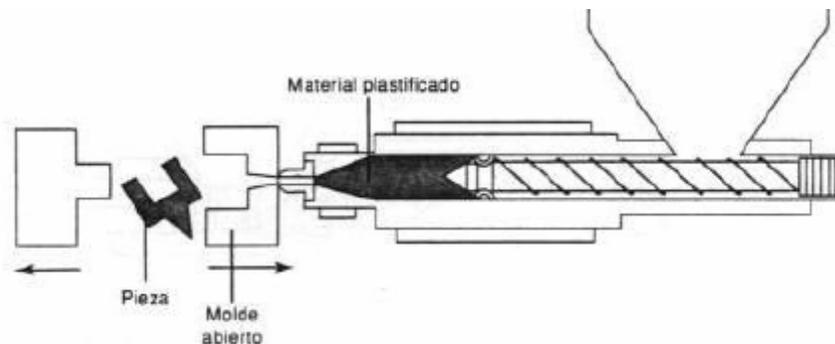


Figura 2.10: Etapa de extracción.

**6. Cierre del molde:** El molde cierra y se reinicia el ciclo.

En cuanto al consumo de potencia en cada una de las etapas del ciclo, se observa que en el cierre del molde apenas se requiere la potencia necesaria para vencer la fricción generada al desplazar la placa móvil. La etapa de inyección necesita la potencia máxima durante un período muy corto. El desplazamiento de la unidad de inyección y la apertura del molde requieren muy poca potencia. En el siguiente diagrama (figura 2.11) se esquematiza el consumo de potencia durante el ciclo de inyección.[10]

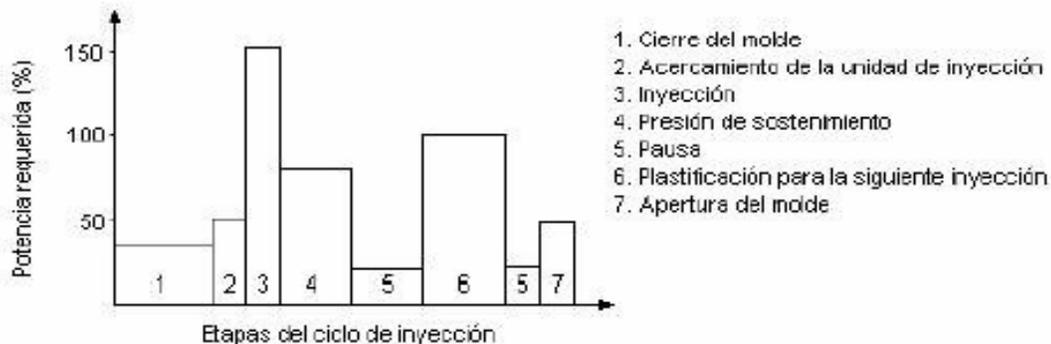


Figura 2.11: Grafica de potencia requerida contra las etapas del ciclo de inyección.

En el anexo 11 se describe mediante una grafica de (P vs t) el llenado de molde por inyección.

### **Molde:**

Después de analizar el producto y conociendo lo referentes a las máquinas podemos decidir todo lo relacionado con el **molde**. El molde (también llamado herramienta) es la parte más importante de la máquina de inyección, ya que es el espacio donde se genera la pieza; para producir un producto diferente, simplemente se cambia el molde, al ser una pieza intercambiable que se atornilla en la unidad de cierre. Las partes del molde son:

- **Cavidad:** es el volumen en el cual la pieza será moldeada.
- **Canales o ductos:** son conductos a través de los cuales el polímero fundido fluye debido a la presión de inyección. El canal de alimentación se llena a través de la *boquilla*, los siguientes canales son los denominados *bebederos* y finalmente se encuentra la *compuerta*.
- **Canales de enfriamiento:** Son canales por los cuales circula refrigerante (el más común agua) para regular la temperatura del molde. Su diseño es complejo y específico para cada pieza y molde, esto en vista de que la refrigeración debe ser lo más homogénea posible en toda la cavidad y en la parte fija como en la parte móvil, esto con el fin de evitar los efectos de contracción. Cabe destacar que al momento de realizar el diseño de un molde, el sistema de refrigeración es lo último que se debe diseñar.
- **Barras expulsoras:** al abrir el molde, estas barras expulsan la pieza moldeada fuera de la cavidad, pudiendo a veces contar con la ayuda de un robot para realizar esta operación.

En el diseño de los moldes se pueden presentar tres posibilidades de trabajo.

1. Diseño de un molde para un producto de plástico ya existente. Por ejemplo un artículo producido en otro país que nosotros también deseamos fabricar.
2. Diseño para un molde plástico tomando como referencia otro producto con un material distinto. Por ejemplo diseño de una botella de plástico en base a una de vidrio.
3. Diseño para un producto totalmente nuevo que antes no existía en ningún tipo de material.

En estos tres casos lo primero es realizar un análisis detenidamente de los aspectos técnicos y características que tiene el producto, capacidad, peso, elasticidad o rigidez, resistencia al impacto y al ataque de productos químicos, resistencia a la temperatura y a la humedad, transparencia y permeabilidad, estabilidad dimensional, resistencia al desgaste superficial por rozamiento, color, olor, etc.[12]

Para analizar el molde seguiremos un orden que no es obligatorio su cumplimiento, pero sirve de guía para el diseño. Algunos pasos tal vez no sean necesarios. A continuación se mencionan y se explican algunos de estos pasos:

- Determinación del tipo molde.
- Diseño del sistema de alimentación.
- Determinación del tipo de expulsión del producto y de la mazarota.
- Determinación y cálculo de los elementos de movimiento del molde (limitadores de carrera, topes, varillas de retorno, barras impulsoras etc.)
- Dimensiones y recomendaciones sobre las cavidades intercambiables.
- Centrado del molde (anillo de centrado, columnas, bujes, etc.)
- Determinación de los elementos para formar roscas
- Selección de los tratamientos térmicos a utilizar para las cavidades de acuerdo al total de artículo a producir
- Cálculo del espesor de las placas

- Calculo de enfriamientos del molde
- Sistema de refrigeración de los moldes de inyección
- Adecuación de las dimensiones del molde a las medidas de los platos portamoldes de las maquinas

Además de estos pasos mencionados se ha desarrollado una guía para la construcción metódica y planificada de moldes de inyección de plásticos (Anexo 12). Posteriormente se explicarán algunos de los pasos mencionados anteriormente.[9]

El tipo de molde a diseñar depende de varios factores, podemos citar algunos de los más importantes:

- Configuración del producto.
- Tamaño del producto.
- Número de cavidades.
- Productividad a obtener.
- Característica de las máquinas, principalmente de los mecanismos de extracción, etc.

Diseño del sistema de alimentación: Lo primero que debemos considerar es el tipo de entrada del material plástico al producto, lo que unido al número de cavidades y al tipo de material a moldear, nos definen el sistema de alimentación que tendrá el molde. Aquí también influyen las posibilidades tecnológicas del taller de construcción de molde y de los recursos que se poseen.

Las características del producto también definen el tipo molde. Si estamos en presencia de un producto plano con un área proyectada grande, debemos analizar la posibilidad de un molde de tres bloques y dos niveles con la que aprovecharemos mas la capacidad de plastificación y el volumen de inyección de la maquina. La forma del producto define la forma de extracción a utilizar. El producto de una forma tubular podemos extráelo mediante camisas extractoras o por placas extractoras.

Si es un recipiente de paredes delgadas es posible la combinación de algunos sistemas como placas extractoras combinadas con extractor central y aire comprimido. Si posee rosca interiores es necesario un sistema de desenrosque. Algunas inyectoras poseen mecanismo de extracción accionada hidráulicamente, lo que simplifica el diseño del molde pues no es necesario proveer varillas de retorno ya que el mismo mecanismo hace retornar al sistema de extracción del molde. A continuación se muestra un diagrama (figura 2.12) donde se muestran los pasos para el cálculo sistema de alimentación.

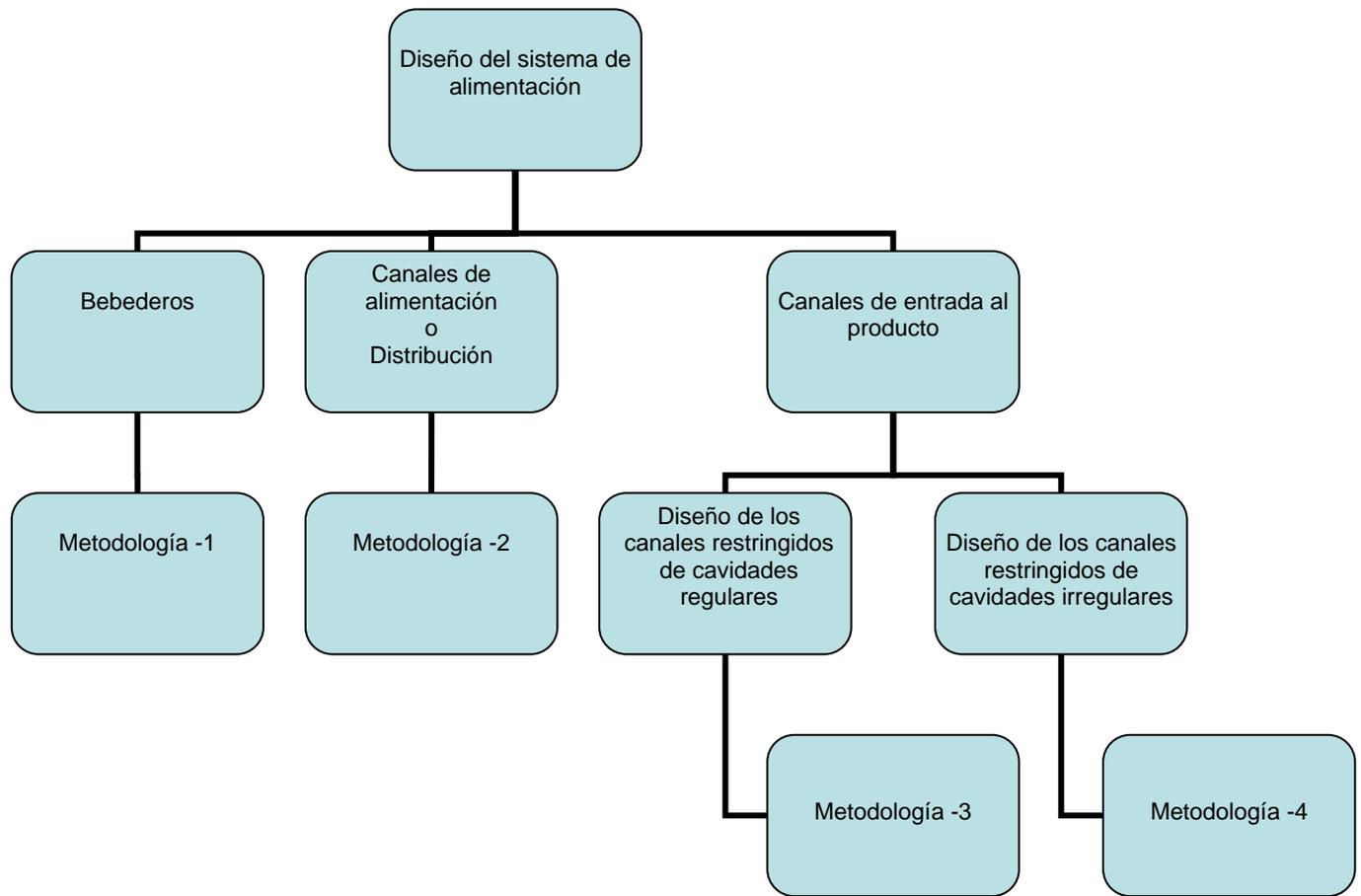


Figura 2.12: Diagrama para el cálculo sistema de alimentación.

Como se muestra en el diagrama anterior para el diseño y la construcción de los moldes es necesario tener una metodología que garantice la correcta fabricación y funcionamiento del mismo, con la mayor calidad posible, con costos bajos y que cumpla con las necesidades del cliente. Que dicha metodología contenga los elementos normalizados más fundamentales y la información necesaria para la obtención de los diferentes tipos moldes. A continuación se explican estas metodologías.[12]

**Metodología - 1: Diseño del Bebedero.**

1. El radio esférico R debe ser mayor (5-10mm) al de la punta de la boquilla de la maquina, con el fin de que el contacto de las superficies sea efectivo y así evitar fugas de material fundido. (Figura 2.13)

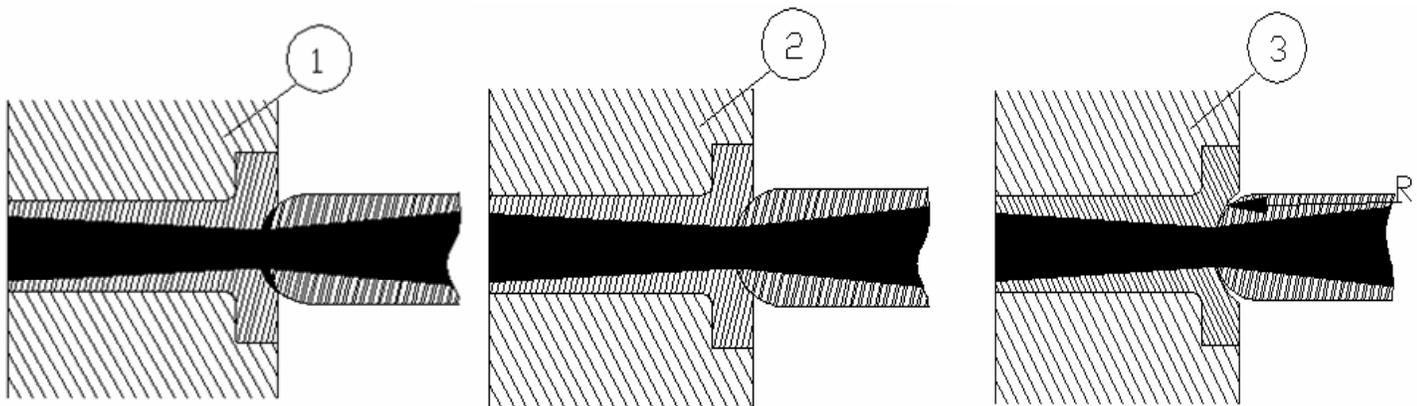


Figura 2.13: Tres representaciones esquemáticas del acople entre los radios esférico del bebedero y la boquilla del inyector.

En el primer ejemplo mostrado en la figura anterior el diámetro del bebedero tiene una dimensión menor al diámetro de la boquilla. En segundo tienen los diámetros iguales. El tercero el diámetro esférico del bebedero es mayor (5 -10 mm) y el orificio de entrada del material al bebedero es mayor al orificio de salida de la boquilla. Los diseño 1 y 2 son incorrectos, el tercero es el que se debe utilizar.

2. El diámetro del orificio de entrada del bebedero debe ser mayor que el de la boquilla para facilitar el desprendimiento de la mazarota.
3. La dimensión de este diámetro “d” depende del volumen (o peso) de los artículos, del espesor de la pared, de la velocidad de inyección y del tiempo de duración del ciclo.

Para artículos de volumen “V” menor a 100 cm<sup>3</sup> el diámetro “d” se puede calcular en forma aproximada mediante la siguiente ecuación.

$$d = \sqrt{\frac{V}{2}} \tag{9}$$

En la tabla siguiente se indican los valores del diámetro “d” para artículos de diferente peso, cuando se fabrica con poliestireno. Para otros materiales se multiplica el valor que aparece en la tabla por el peso específico.

Peso total de los productos (gramos)	Diámetro menor del bebedero (mm)
0 -10	2.5 - 3.5
10 - 20	3.5 - 4.5
20 - 40	4.0 - 5.0
40 -100	4.5 - 5.5
100 -150	5.0 - 6.0
150 - 300	5.5 -7.0
300 - 500	6.0 - 8.0
500 -1000	6.5 - 8.5
1000 - 2000	7.0 - 9.5
2000 - 5000	7.5 -10.0

Tabla 2.3: Diámetro del orificio de entrada del bebedero.

4. La conicidad del desmoldeo del bebedero debe ser de 2 a 5<sup>0</sup> entre generatrices y se debe pulir con brillo de espejo para facilitar el desmoldeo.
5. La altura total “L” debe ser lo mas corta posible para evitar desperdicio de material y para que su solidificación sea lo mas posible después de realizada la inyección. Se debe cumplir una relación de 5 a 10 veces el diámetro del bebedero. Esto es L = (5 - 10)d.

Es importante destacar que cuando las circunstancias especiales de un diseño exijan alturas muy grandes, el bebedero debe refrigerarse externamente para que el masarote se solidifique simultáneamente con los productos moldeados. En caso contrario puede romperse al abrir el molde si el ciclo es muy corto.

El bebedero debe construirse de acero 30XMA con una dureza de 45 – 48 HRC. Para moldes grandes también se utiliza el acero 12XH3A cementado con una dureza de 55 – 58 HRC o 40XH con la misma dureza.

El acero debe tener buena resistencia mecánica pues debe soportar la presión "p" que imprime la boquilla de la máquina al apoyarse a la superficie esférica. Esta presión es indispensable para asegurar una buena junta entre la boquilla y el bebedero, y evitar así falta de hermetismo que originaría fuga de material.

6. En las esquinas del bebedero se deben evitar aristas vivas para eliminar contracciones de tensiones. Un radio de 2 a 3 mm es suficiente para resolver este problema. (Figura 2.14 y 2.15)

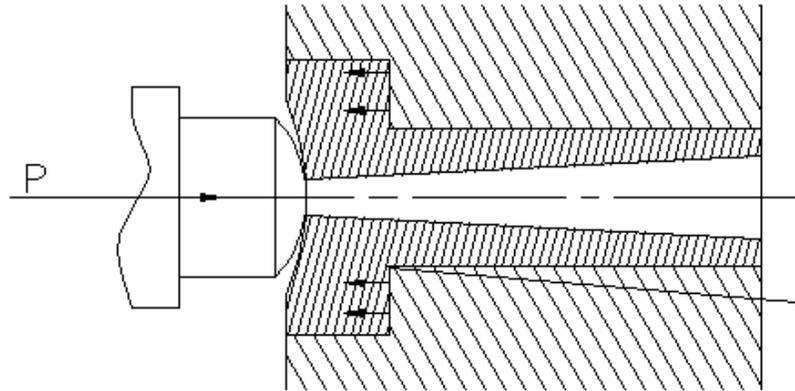


Figura 2.14: Representación esquemática de la concentración de tensiones y rotura del bebedero por la presencia de aristas vivas.

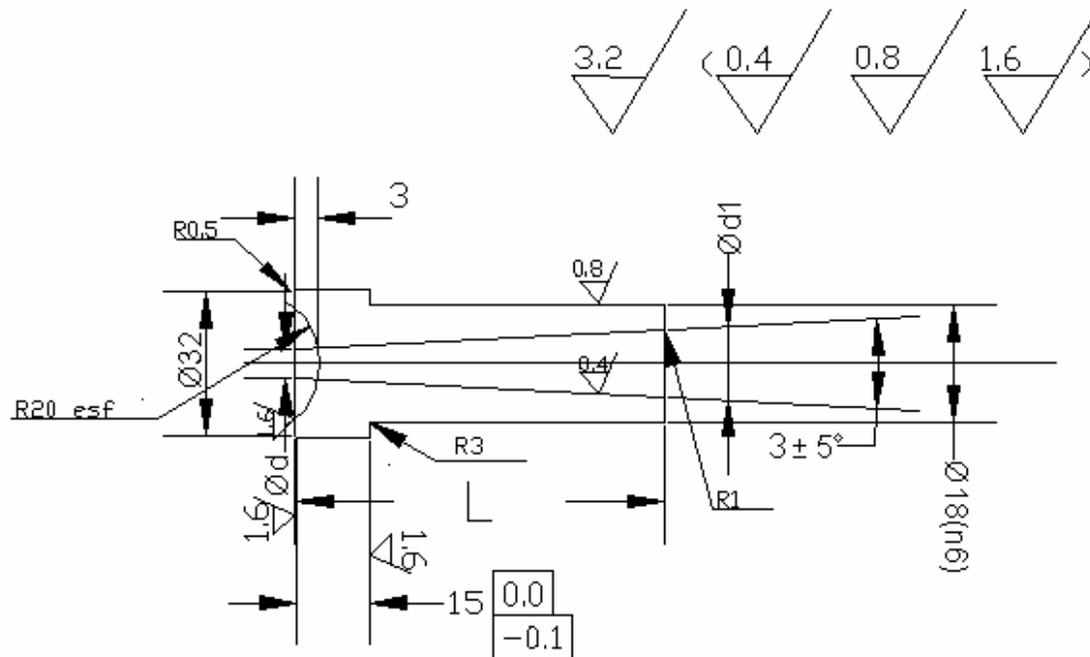


Figura 2.15: Bebedero con sus dimensiones.

d	d <sub>1</sub>	L 0.00 - 0.02	d	d <sub>1</sub>	L 0.00 - 0.02	d	d <sub>1</sub>	L 0.00 - 0.02	d	d <sub>1</sub>	L 0.00 - 0.02	d	d <sub>1</sub>	L 0.00 - 0.02
3	4.1	25	4	5.1	25	5	6.1	25	6	7.1	25	8	9.1	25
	4.4	30		5.4	30		6.4	30		7.4	30		9.4	30
	4.7	35		5.7	35		6.7	35		7.7	35		9.7	35
	5.0	40		6.0	40		7.0	40		8.0	40		10.0	40
	5.1	42		6.1	42		7.1	42		8.1	42		10.1	42
	5.3	47		6.3	47		7.3	47		8.3	47		10.3	47
	5.5	52		6.5	52		7.5	52		8.5	52		10.5	52
	5.8	57		6.8	57		7.8	57		8.8	57		10.8	57
	6.1	62		7.1	62		8.1	62		9.1	62		11.1	62
	6.3	67		7.3	67		8.3	67		9.3	67		11.3	67

Tabla 2.4: Dimensiones de L, Ød, Ød<sub>1</sub> para la figura representada.

**Metodología – 2:** Diseño de los canales de alimentación.

Los canales de alimentación o canales de distribución tienen como finalidad conducir el material plástico desde el bebedero hasta las cavidades del molde. A continuación se mencionan diferentes pasos para el diseño de los mismos.[12]

1. Los canales deben diseñarse de tal forma que se garantice que el material llegue a las cavidades simultáneamente, a igual presión, velocidad y temperatura. Esta condición de equilibrio debe cumplirse para todos los productos que se moldeen en igualdad de condiciones, lo que permitirá obtener iguales características de calidad.
2. La forma del canal debe ser lo más adecuada para que facilite un buen flujo de material plástico.

Una sección circular es la ideal puesto que el material al ponerse en contacto con las paredes frías del canal se solidifica formándose un delgado tubo aislante, dentro del cual la masa del plástico caliente denominado núcleo plástico fluye por el centro separado de la pared solidificada que reduce las pérdidas de calor. Si el canal es semicircular o rectangular por ejemplo las pérdidas de calor y el rozamiento aumenta obstaculizando el libre flujo del núcleo plástico. En la figura 2.16 se muestran varias secciones de canales de alimentación. Las secciones trapezoidales y parabólicas son las que más se aproximan a las características del canal circular que es el óptimo. Pero que tiene la desventaja de ser difícil de maquinar en las dos mitades del molde aumentando los costos del este.

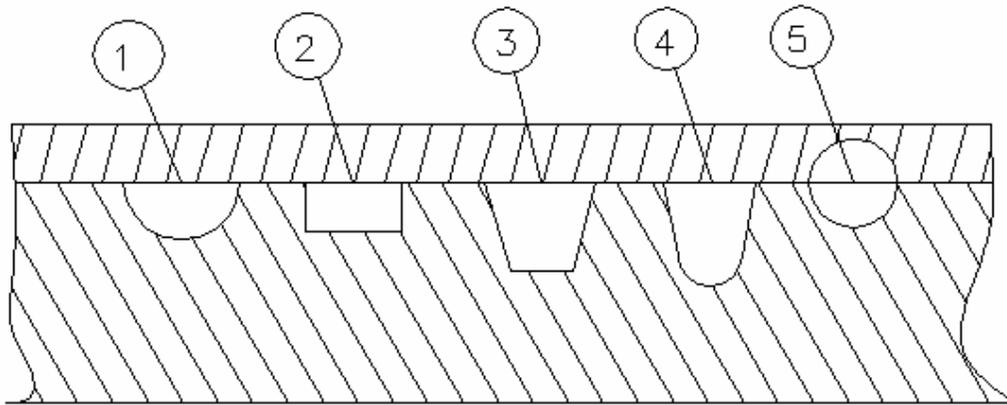


Figura 2.16: Diferentes secciones de canales de alimentación para moldes inyección. (1) y (2): inadecuados, (3) y (4): son secciones que permiten buen rendimiento, (5) es canal óptimo, pero aumenta los costos del molde.

- Las dimensiones de los canales de alimentación dependen principalmente del tipo de molde, del material plástico a utilizar, del tamaño y del peso del producto que se va a fabricar.

Como regla se puede tomar que a mayor espesor y peso del producto se requiere un canal de mayor sección. A mayor fluidez del material plástico utilizado, se necesita menor sección de canal. El área del canal es directamente proporcional al espesor y el peso del producto es inversamente proporcional al flujo del plástico usado en la producción.

- En este paso se calculan los canales de alimentación:

- Para canales circulares el diámetro se calcula de la siguiente formula:

$$D = E + K, \quad (10)$$

- Para canales parabólicos: (Figura 2.17)

$$M = E + K \quad (11)$$

$$L = 1.25 d$$

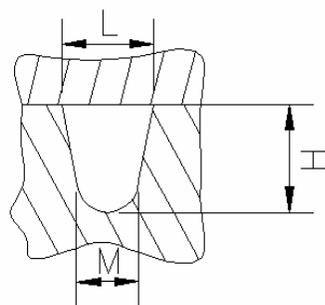
$$H = 0.5 L$$

- Para canales Trapezoidales: (Figura 2.17)

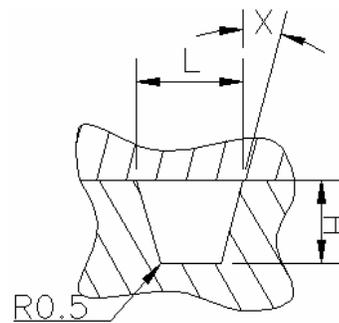
$$L = 1.25 (E + k) \quad (12)$$

$$H = 0.5L$$

$$X = 5 - 15^\circ$$



Canal parabólico



Canal trapezoidal

Figura 2.17: Dimensiones de los canales parabólicos y trapezoidales. E - espesor máximo de la pieza. K = 1.5 para materiales fluidos y K = 3.0 para materiales viscosos.

Donde:

“E” es el espesor máximo del producto

“K” es un factor que depende de la fluidez del material plástico:

K = 1.5 para plásticos de buena fluidez

K =2.0 para plásticos con regular fluidez

K =3.0 para plásticos con poca fluidez

En la tabla que se muestra a continuación se muestran los valores de L y H para un ángulo X =15° con sus respectivas áreas de la sección transversal.

Medidas de la sección del canal distribuidor en mm.		Área de la sección transversal del canal distribuidor en mm <sup>2</sup>
L	H	
3	1.5	4.4
3.5	2	6.8
4	2	7.7
4	2.5	9.5
5	2.5	12.0
5	3	14.4
6	3	17.2
6	4	22.8
7	3.5	23.5
7	4	26.8

Tabla 2.5: Dimensiones de L, H Y S<sub>2</sub> para canales de alimentación trapezoidales con un ángulo X = 15°. Si varía el ángulo es necesario calcular el nuevo valor del área de la sección del canal S<sub>2</sub>.

### Metodología – 3: Diseño de los canales restringidos.

Los canales restringidos mas utilizado son los de sección rectangular (Figura 2.18 y 2.19). Para el cálculo de los mismos se sigue la siguiente metodología.[12]

1. Cálculo de la sección de los canales de alimentación “S<sub>2</sub>”.

$$S_2 = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (13)$$

Donde:

D – diámetro del canal de alimentación.

2. Para determinar el diámetro del canal “D”:

$$D = E + K \quad (14)$$

Donde:

E= Espesor máximo del articulo.

K = Factor de fluidez del material.

3. Cálculo de la sección de los canales restringidos "S<sub>1</sub>".

$$S_1 = 0.07S_2 \quad (15)$$

4. Cálculo de la dimensión "b" del canal restringido en función del área "S<sub>1</sub>".

$$b = \sqrt{\frac{S_1}{3}} \quad (16)$$

Nota: Relación del diseño;

$$a = 3b; L = b; b = S_1/3$$

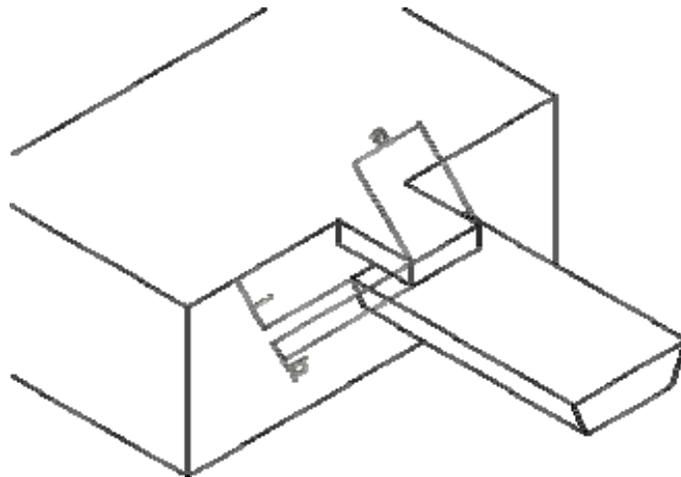


Figura 2.18: Dimensiones generales de un canal restringido de sección "S<sub>1</sub>"rectangular.

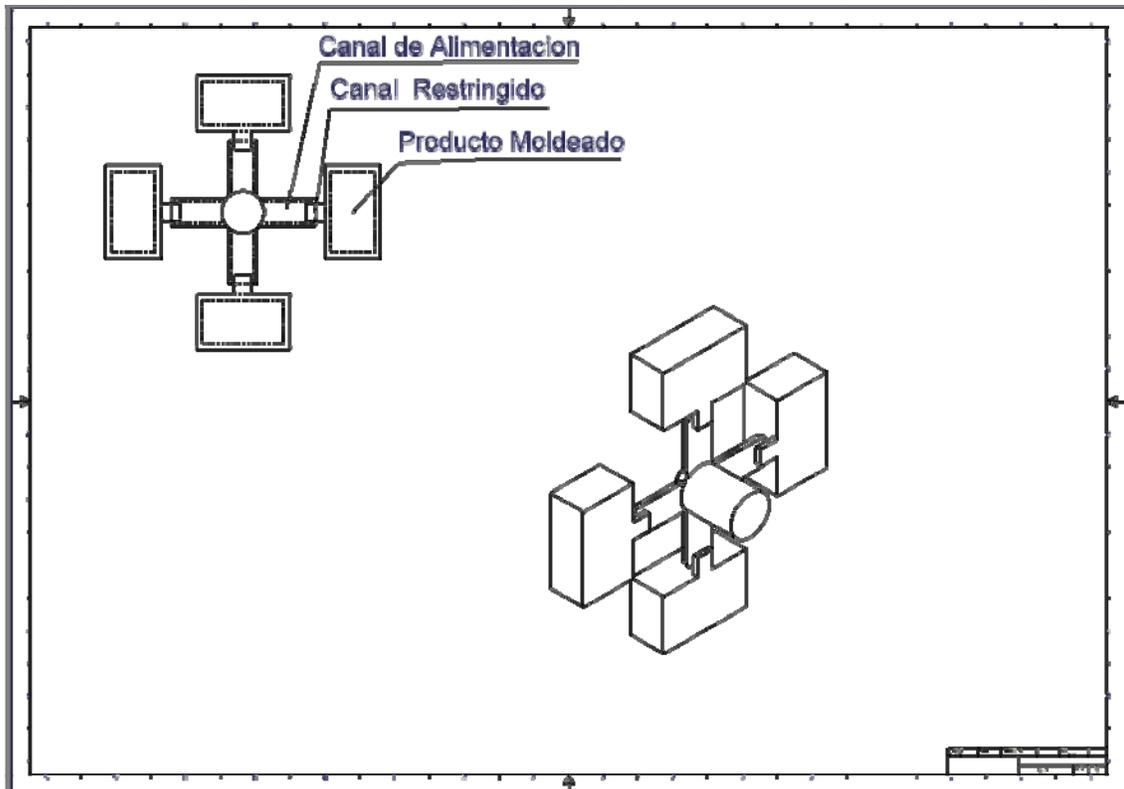


Figura 2.19: Dibujos de los canales restringidos de sección rectangular.

**Metodología – 4:** Diseño de los canales restringidos cuando la distribución de las cavidades es irregular.

El cálculo empírico de estos canales restringidos para moldes de canales de alimentación de igual sección y cavidades distribuidas irregularmente es el siguiente: [12]

Tomamos como ejemplo un molde de 10 cavidades como se muestra en la figura 2.20.

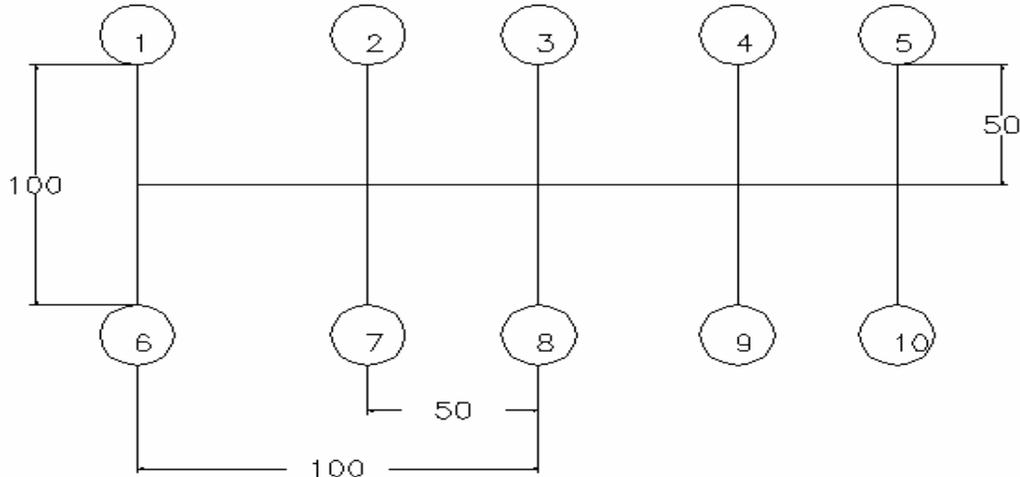


Figura 2.20: Distribución irregular de un molde 10 cavidades.

Todos los canales de alimentación (primarios y secundarios) tienen una sección circular con un diámetro “D” igual a 6 mm.

1. Para calcular la sección rectangular del canal restringidos de las cavidades 3 y 8, que son las únicas que se encuentran a igual distancia del bebedero, se toman las fórmulas ya estudiadas.

$$S_1 = 0.07S_2 \quad b = \sqrt{\frac{S_1}{3}} \quad \text{y} \quad a = 3b \quad (17)$$

Donde:  $S_1$ : sección del canal restringido.

$S_2$ : sección del canal de alimentación.

b: altura del canal restringido.

a: anchura del canal restringido.

Entonces:

$$S_1 = 0.07 * \frac{\pi * 6^2}{4} = 1.98mm^2 \quad (18)$$

$$b = \frac{1.98}{3} = 0.81mm \quad (19)$$

$$a = 3 * 0.81 = 2.41mm \quad (20)$$

Ahora bien, para calcular los canales restringidos de las cavidades 2, 7, 4 y 9, que se encuentra equidistantes del centro a una distancia igual a 100 mm, como se muestra en la figura 2.20 y para calcular los canales de las cavidades 1, 6, 5 y 10, que se encuentran a 150 mm del centro se toma la siguiente ecuación:

$$S_1 = K + i\sqrt{L} \quad (21)$$

Donde:

K - constante que determina la base de las cavidades más cercanas del molde.

I - Longitud del canal restringido que se puede ser tomado entre 0.5 y 0.7mm.

L - Distancia total entre el punto central donde esta el bebedero hasta la cavidad analizada.

2. Para determinar el valor de K en el ejemplo tomamos

$$k = S_1 / i\sqrt{L} \quad (22)$$

Sustituyendo valores y tomando:  $i = 0.5\text{mm}$  y  $L = 50\text{ mm}$  (para las cavidades 3 y 8) se obtiene que:

$$K = 1.98 / 0.5\sqrt{50} = 0.56$$

3. Sustituyendo en la ecuación (21) las sección de las cavidades 2, 7, 4 y 9, donde  $L = 100\text{ mm}$  será la siguiente:

$$S_1 = 0.56 * 0.5 * \sqrt{100} = 2.8\text{mm}^2$$

Y la sección para las cavidades 1, 6, 5 y 10 donde  $L = 150\text{mm}$  será:

$$S_1 = 0.56 * 0.5 * \sqrt{150} = 3.43\text{mm}^2$$

El cálculo de las dimensiones de “a” y “b” de estos canales es similar al efectuado en el cálculo 1.

Para la determinación del tipo de expulsión del producto y de la mazarota, se debe definir el sistema de extracción a utilizar los cuales pueden ser:

- Extractor sencillo.
- Extractor con extremo cónico.
- Extractor con camisa.
- Extractor con lámina.

Para la determinación y cálculo de los elementos de movimiento del molde (limitadores de carrera, topes, varillas de retorno barras, impulsoras, etc.) tenemos que los limitadores de carrera son los encargados de limitar los recorridos de las placas extractoras y de las placas de molde de tres bloques.

El material que mas se emplea en este caso es el acero (18XGT o 20), con una cementacion de 0.6 – 0.8 de profundidad, necesita de temple y revenido con una dureza de 54 – 58 HRC.

Los topes tienen como función limitar el recorrido de las placas extractoras. Después de montado en el respaldo de las placas móvil deben ser rectificadas para que todos sean igual; además esto permite ajustar la altura de los extractores recuesto a las cavidades.

El material de los topes se recomienda acero (45) con temple y revido, con dureza 45 – 50 HRC.

Después de actuar los extractores, el sistema de extracción del molde queda desplazado hacia delante, al cerrar nuevamente debe retornar pero sin que los extractores dañen el fondo de la cavidad. Esto se logra mediante la inclusión en el sistema de extracción de las columnas de retorno.

El material de las columnas debe fabricarse del mismo acero de los extractores con la misma profundidad de temple y revenido y con la misma dureza.

Las barras extractoras tienen como objetivo realizar el contacto con los topes fijos, cuando se abre el molde. Esta barra está unida al resto del sistema de extracción del molde y permite el accionamiento de los extractores. El material de los topes se recomienda acero (45) con temple y revenido, con dureza 45 – 50 HRC.

#### Dimensiones y recomendaciones sobre las cavidades intercambiables.[12]

Las cavidades de moldes pequeños y medianos pueden ser:

- Fijas o integrales entre las placas
- Intercambiables o desmontables

Al decidirse sobre la utilización de cavidades integrales en las placas, deben tenerse en cuenta las posibilidades tecnológicas del taller de construcción de moldes (si existen taladradoras por coordenadas, fresadoras copiadoras, pantógrafos, máquinas de electroerosión, etc.) y la experiencia del personal que construirá el molde. Uno de los problemas a resolver en este caso es lograr la coincidencia de los perfiles o configuraciones del producto (cavidades) entre ambas mitades del molde. Es un trabajo que requiere experiencia y precisión, sobre todo en moldes multicavidades. Un ejemplo típico puede ser un molde de multicavidades para peine, donde hay que lograr que los finos dientes del peine y el contorno en general coincidan con todas las cavidades a la vez. Si no se logra lo anterior, los peines no servirán, y hay que desechar las placas con la consiguiente pérdida de tiempo, dinero y recurso.

Otra desventaja es que se daña la cavidad, y no se puede reparar, es necesario (si las características del molde lo permiten) clausurarla, lo que disminuye la productividad a obtener. En casos extremos el daño de una cavidad implica la eliminación del molde. También es posible la aparición de deformaciones durante el tratamiento térmico.

Como aspecto positivo podemos mencionar que el molde es más compacto, el sistema de refrigeración muchas veces se simplifica y en ocasiones es más eficiente y disminuye el peso del molde, pues no son necesarias las placas de respaldo.

Al hacer el diseño, debemos lograr siempre minimizar la distancia entre las cavidades, pero así disminuir el tamaño del molde. Esta distancia depende de la configuración del producto, pero se recomienda como mínimo 7 mm, entre las partes más próximas. La distancia mínima de la cavidad al borde exterior, próxima del molde debe ser 12 mm. El espesor de estas placas o cavidades intercambiables, dependen de los esfuerzos a los que están sometidas.

Las cavidades intercambiables o desmontables, pueden ser rectangulares o circulares en dependencia de la forma geométrica del producto. Poseen varias ventajas que superan a algunas de las desventajas inherente a las cavidades integrales. Tecnológicamente no es necesario tanta precisión, pues es más fácil centralizar las cavidades independientemente para su elaboración y después montarlas en las placas porta cavidades que poseen los agujeros previamente elaborados en ambas placas (portamachos y portahembra) simultáneamente, con lo que se logra la contracción requerida.

Las cavidades rectangulares se pueden encastrar en las placas, pero es más económico y menos laborioso montarlas siempre que sea posible en ranuras elaboradas transversal o longitudinalmente en las placas. Esto disminuye el trabajo mecánico de elaboración del encastre, ahorra espacio entre las cavidades y al alinear las dos primeras cavidades hembra y macho, se logra alinear el resto respecto a las tomadas como referencia.

El encastre y el empotramiento eliminan la necesidad de utilizar placas de respaldo.

De dañarse alguna cavidad, puede ser sustituida y el tratamiento al hacerse independiente es más fácil y seguro, pudiendo someterse a cementación o nitruración, etc.

El espesor de la pared de las cavidades intercambiables de los moldes pequeños y mediano, se dimensionan casi siempre de acuerdo a la experiencia. La disminución del peso del molde,

contribuye a aumentar la vida útil de la maquina de inyección, pues un menor peso del molde provoca menor desgaste del mecanismo de cierre.

Centrado del molde (anillo de centrado, columnas, bujes, etc.): Para un correcto funcionamiento, el molde debe centrarse respecto a las boquillas de la máquina de inyección y a su vez ambas mitades del molde (bloque fijo y bloque móvil) deben centrarse entre si. Lo primero se logra mediante anillos de centraje y lo segundo mediante columna, bujes guías o superficies inclinadas (moldes autocentrantes). [12]

El diámetro exterior del anillo se determina de acuerdo a la dimensión del orificio de centraje del plato fijo de centraje de la máquina inyectora que se va a utilizar. El ajuste empleado es H7/f8 y se emplean tornillos para fijarlos al molde.

La función de las columnas es guiar los bloques del molde, permitiendo que los machos y las hembras se acoplen con precisión.

Elas sobresalen de una de las mitades del molde y cuando el molde se cierra se introduce en los bujes situados en la otra mitad del molde con un ajuste deslizante H7/g6.

El tamaño de las columna y los bujes guías dependen del tamaño del molde. La longitud “L” debe ser suficiente para asegurar que penetre en el buje antes de que el macho lo haga en la hembra.

Selección de los tratamientos térmicos a utilizar para las cavidades de acuerdo al total de artículo a producir: En ocasiones se construyen los moldes para producir una cantidad limitada de artículos en dependencia de las necesidades del cliente. Este determina la necesidad de someter las cavidades a tratamientos térmicos o no. También es posible que debido a la gran complejidad de las cavidades no sea posible tratarlas térmicamente por el peligro de deformaciones, roturas, etc. En este caso es necesario cuantos productos podemos obtener sin tratar térmicamente las cavidades. La duración de las cavidades también depende de las características del material a moldear. [12]

En el anexo 13 se muestra una tabla que relaciona las moldeadas que se pueden hacer dependiendo del tratamiento térmico de las cavidades, el material a moldear y la complejidad de las cavidades.

Cálculo del espesor de las placas: Tanto las placas de respaldo como las placas portacavidades y placas con cavidades fijas en los moldes de inyección, están sometidas a esfuerzos de flexión que pueden permitir deformaciones si no se calculan sus dimensiones. El cálculo se basa en la determinación del espesor de la placa en función de la carga, la longitud de la placa, la distancia entre los separadores del molde, la resistencia del acero y la presión del molde. [12]

Para moldes sin apoyos en los separadores la fórmula es la siguiente:

$$h = 19.1 \sqrt{\frac{A_{pp} * a}{b}} \quad (23)$$

Donde:

h - Espesor de la placa en cm

$A_{pp}$  - Área proyectada del producto y los mazarotes en  $cm^2$

a - Distancia entre los separadores del molde en cm

b - longitud de la placa en cm

$[\gamma]$  = tensión permisible del acero

$[\gamma]$  = 840Kg/cm<sup>2</sup> en estado de suministro

$[\gamma]$  = 1000Kg/cm<sup>2</sup> para aceros mejorados

Cuando se utilizan apoyos en los separadores se utiliza la siguiente formula:

$$h = 9.95 \sqrt{\frac{A_{pp} * a}{b[\gamma]}} \text{ Para una hilera de apoyo} \quad (24)$$

$$h = 9.95 \sqrt{\frac{A_{pp} * a}{b[\gamma]}} \text{ Para dos hileras de apoyos} \quad (25)$$

Cálculo de enfriamientos del molde: Para un correcto enfriamiento de los productos y la obtención de la productividad esperada del molde, es necesario calcular el diámetro y la longitud de los canales, así como la cantidad de flujo de agua que debe circular. [12]

La cantidad de calor que debe absorber el agua de enfriamiento depende de:

1. Conductividad térmica del plástico
2. Cantidad de calor cedida por la masa plástica a las superficies del plástico
3. Conductividad térmica del acero del molde
4. Cantidad de calor cedida a los canales de enfriamientos del molde

La ecuación de balance térmico del molde es la siguiente:

$$Q_{ct} = Q_p + Q_{ae} \quad (26)$$

Donde:

$Q_{ct}$  - Cantidad de calor total cedido al molde por la masa plástica (Kcal/h)

$Q_p$  - Cantidad de calor perdido

$Q_{ae}$  - Cantidad de calor absorbida por el agua de enfriamiento (Kcal/h)

La cantidad de calor cedida al molde por la masa plástica se determina como:

$$Q_{ct} = G_i * C_p * \Delta T_a + G_i * C_c \quad \text{Kcal/h} \quad G_i = \frac{P_m * 3600}{t_c} \quad (27)$$

$P_m$  - peso de moldeada en (gr.)

$T_c$  - tiempo del ciclo (seg.)

Donde:

$G_i$  - Peso de inyección por hora Kg/h

$T_a$  - Diferencia entre la temperatura de elaboración ( $T_e$ ) y al temperatura de desmoldeo ( $T_d$ ).

$T_a = T_e - T_d$  ----- ( $T_e$  y  $T_d$ ) los valores aparecen en el anexo 14

$C_p$  - Calor específico del plástico (Kcal/Kg<sup>0</sup>C)

$C_c$  - Calor latente del plástico (Kcal/Kg)

Material	Cp (Kcal/Kg <sup>0</sup> C)	Cc (Kcal/Kg)
PeAD	0.88	0
PeBD	0.84	31
Ps	0.46	31
PA	1.06	58
Pp	0.70	35
PVC - duro	0.40	0
PVC - blando	0.60	0

Tabla 2.6: Valores de Cp Y Cc para distintos materiales termoplásticos.

La cantidad de calor perdido será:

$$Q_p = 0.3 \cdot Q_{ct} \text{ (se considera que se pierde un 30\% del calor total).} \quad (28)$$

Para determinar las dimensiones de los canales de refrigeración y la cantidad de agua necesaria, debemos calcular la cantidad de calor absorbida por el agua "Q<sub>ae</sub>".

$$Q_{ae} = Q_{ct} - Q_p$$

$$Q_{ae} = Q_{ct} - 0.3 Q_{ct}$$

$$Q_{ae} = 0.7 Q_{ct}$$

$$\text{Sustituyendo: } Q_{ae} = 0.7 G_i (C_p \cdot \Delta T_a + C_c)$$

La cantidad de agua necesaria para el enfriamiento del molde, se determina por la siguiente formula:

$$m = \frac{Q_{ae}}{C_p \Delta T_o} \quad (29)$$

Donde:

m - Cantidad de agua necesaria (Kg/h)

$\Delta T_o$  - Diferencia de temperatura del agua que entra al molde y la que sale. Para que el intercambio de calor sea correcto se debe cumplir que esta diferencia sea menor que 6 °C. Se recomienda que  $\Delta T_o = 3 \dots 5^\circ\text{C}$

Ya determinadas las cantidades de calor cedido y absorbido por el molde y la cantidad de agua necesaria para el enfriamiento del mismo se procede al cálculo de las superficies de enfriamientos "F" de los canales de refrigeración.

$$F = \frac{Q_{ae}}{\lambda \Delta T} \quad (30)$$

Donde:

$\Delta T$  - Diferencia entre la temperatura de la pared del conducto y el punto medio del flujo de agua. En la práctica  $\Delta T = 8^\circ\text{C}$ .

F - Superficies de enfriamientos de los canales en m<sup>2</sup>

$\lambda$  - Índice de conductividad térmica del material del molde para el acero:

$$\lambda = 1280 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Longitud de los canales de refrigeración: La longitud que deben tener los canales se determina por la siguiente fórmula:

$$L = \frac{10^3 F}{\pi D} \quad (31)$$

Donde:

L - Longitud de los canales en m.

d - Diámetro de los canales en mm. Los diámetros más utilizados son de 8 a 10 mm.

Sistema de refrigeración de los moldes de inyección: Para que los productos moldeados puedan solidificarse en óptimas condiciones dentro del molde, se requiere un buen diseño de los canales de refrigeración y adecuadas condiciones del agua refrigerante. Un buen refrigerante disminuye los ciclos y aumenta considerablemente los rendimientos.[12]

El acero con que se construye los moldes no tiene una alta conductividad térmica. Por esta condición y con fin de garantizar la temperatura adecuada del molde se debe contar con agua circulante fría y con canales de refrigeración lo mas grande posible, ubicado a una distancia adecuada en relación con las cavidades del molde.

Las aleaciones de cobre son mejores conductoras, pero su resistencia mecánica es menor, por lo cual se utilizan solamente en moldes de inyección pequeños y en moldes de soplado. La exigencia de calidad cada vez es mayor en la producción de artículos finos y piezas de ingeniería, donde la estabilidad dimensional y el acabado superficial son muy importantes, exigen un exacto control de la temperatura del molde.

Para lograr este control se hace indispensable contar con un circuito de refrigeración que garantice la producción de los artículos de alta calidad en ciclos mínimos.

En las plantas procesadoras de productos inyectados principalmente donde se trabaja con polietileno, polipropileno poliestireno y PVC, se recomienda la instalación de una unidad de refrigeración que permita obtener temperaturas del agua comprendidas entre los 5° C y 20°C. La temperatura del agua debe ser menor que la requerida en el molde para un plástico determinado, y generalmente para condiciones óptimas se necesitan temperaturas del agua menores que la del ambiente, esto se recomienda mas a los países con temperaturas promedios superiores de los 20°C, donde es imposibles reducir estos valores utilizando torres de enfriamientos convencionales, se ha comprobado que utilizando agua refrigerada mediante una unidad frigorífica, se incrementan los rendimientos de producción hasta un 30%, utilizando los mismo molde y los mismo materiales plásticos.

Esto nos hace comprender que es un error considerar que un adecuado control de la temperatura del molde y un aumento de los niveles de producción se puede lograr con moldes instalados a una red de suministro de agua común y corriente. En este caso el molde no podrá trabajar en condiciones optimas, aunque su diseño sea el correcto y su concepción halla sido hecha para trabajar automático de alta velocidad.

Pero no todos los materiales plásticos requieren estas temperaturas bajas del agua refrigerante, habrá ocasiones en que haya que calentar el molde si se desea obtener ciertas características de los productos inyectados con estos plásticos (buen brillo, buena fluidez, buena transparencia etc.). Pero en las plantas donde el gran volumen de plástico procesado exige de alta refrigeración se debe cuidar no solo el diseño de los canales del molde sino también de las características que deben tener las instalaciones externas al molde o sea, del circuito de refrigeración de la planta.

### **Conclusiones parciales.**

Como conclusión de este capítulo se puede afirmar que para realizar el diseño de un molde de inyección de plástico y la construcción del mismo, se deben conocer las características de los polímeros, su comportamiento ante la temperatura, cual es el más recomendable para la elaboración de un artículo, si es un termoplástico o un termoestable, como se comporta a temperatura ambiente, conocer su estructura, si se necesita de algún aditivo para mejorar sus propiedades y estéticas (con colorantes o pigmentos, etc.). Después de haber hecho este análisis se selecciona la forma de la pieza, requerimientos, volumen del pedido, cantidad y tiempo, números de cavidades, selección de la máquina de inyección, forma de ejecución del molde, situación de las cavidades, sistema de coladas, sistema de regulación de la temperatura, sistema de extracción, sistema de salida de gases, materiales de construcción, determinación de la construcción y por último la construcción del molde.

## *Capítulo III*

## **CAPÍTULO III: Softwares de aplicación y simulación para el diseño de moldes.**

### **3.1 - Softwares de aplicación y simulación al diseño de moldes.**

Todas las áreas de creación de componentes plásticos se benefician con la optimización en el diseño del molde y los parámetros del proceso de moldeo. La búsqueda continua por el aumento de la competitividad, la reducción en tiempo de desarrollo de nuevos productos así como en sus costos ha pasado de ser una exigencia a convertirse en una necesidad. En este contexto es de vital importancia el conocimiento y utilización de todas aquellas tecnologías que faciliten un trabajo más rápido, eficaz y seguro. Esto explica porque las industrias modernas invierten en el desarrollo o la adquisición de software que simulen matemáticamente diferentes procesos de manufactura incluyendo la creación y conformación de piezas.

En este Capítulo se describen algunos aspectos positivos y cuidados para el uso de algunos softwares de simulación como el SolidWork, VISI Flow, MoldFlow, GibbCAM. Finalmente se presenta un estudio de un caso desarrollado aplicando el SolidWork.

#### **- SolidWorks:**

En el mundo las grandes empresas que se dedican a realizar moldes, necesitan un diseño de moldes rápido, preciso y económico. El software SolidWorks® Office Premium puede ayudarle a satisfacer estos retos competitivos. Las herramientas de validación, análisis y diseño de moldes le permiten producir mejores moldes y a la vez ahorrar tiempo y dinero.[17]

Gracias a este software se puede satisfacer la demanda del cliente en menos tiempo y con un precio menor y mejorar su rentabilidad al mismo tiempo.

Este es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico que corre bajo el sistema operativo Microsoft Windows y es desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una subsidiaria de Dassault Systèmes (Suresnes, Francia). Es un modelador de sólidos paramétrico, que usa el kernel de modelado geométrico Parasolid. Fue introducido en el mercado en 1995 para competir con otros programas CAD como Pro/ENGINEER, I-DEAS, Unigraphics, CATIA, y Autodesk Mechanical Desktop y es actualmente el líder del mercado del modelado mecánico en CAD.

SolidWorks ha permitido llevar a cabo de una forma cómoda la transición de CAD en 2D a 3D, para acelerar la velocidad a la que las empresas de desarrollo de productos procesan la información.

Los beneficios de productividad obtenidos gracias al software SolidWorks, pueden aumentar espectacularmente la competitividad de un fabricante. El modelado sólido reduce los ciclos de diseño, moderniza los procesos de fabricación y acelera la introducción de productos en el mercado al mejorar el flujo de información y comunicación del diseño de productos en empresas, además entre sus proveedores y clientes.

El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada. Es el producto más completo de su categoría en el mercado, el único en reunir en la misma y única aplicación diseño 3D, análisis, gestión de datos técnicos, la colaboración y la validación de piezas de plástico moldeadas por inyección.

Garantiza un alto nivel de productividad debido a su extraordinaria rapidez y facilidad de uso que permite diseñar piezas unitarias o conjuntos de varios miles de componentes.

Entre sus principales funcionalidades tenemos:

1. Modelado de piezas y de conjuntos mecánicos.
2. Modelado de volúmenes y superficies.
3. Funciones específicas: chapa, soldadura, molde.
4. Planos 2D y listas de materiales.
5. CosmosXpress: resistencia de materiales y cálculo por elementos finitos.
6. MoldflowXpress: simulación de llenado de molde de inyección de plástico.
7. Interface IGES, STEP, Parasolid, Acis, DXF, DWG, STL, UG, ProE, and PDF...
8. Visualización interactiva, publicación Web.
9. Colaboración y comunicación en Internet.
10. Más de 300 soluciones de partners de los cuales 25 son Gold Partner.
11. Windows nativo OLE 2.0 VBA 7 integrado.

- **VISI Flow:**

Los diseñadores de partes y fabricantes de moldes, se benefician al usar la tecnología patentada de Vero, para la simulación de la inyección, alcanzando un costo efectivo, diseño confiable del molde y las condiciones óptimas del proceso de inyección. VISI Flow es una herramienta única de predicción, ideal para análisis de pre y post producción y para ingeniería concurrente de inyección de componentes plásticos.

VISI Flow provee una interfase amigable, para generar una solución correcta, con tiempos cortos de preparación del modelo y cálculos. VISI Flow provee una solución completa para diseñadores de partes/moldes y técnicos en la inyección de plástico; desde el análisis de llenado, hasta cálculos de deformaciones y análisis de optimización térmica.

Usando una tecnología propia híbrida de mallado, VISI Flow realiza una simulación del flujo real en tres dimensiones con tiempos de cálculos muy cortos. El mallado del sólido es una función automatizada, aplicada a cualquier modelo CAD, por lo que VISI Flow tiene tiempos cortos en la preparación del modelo y cálculos de análisis rápido. El mallado patentado proporciona resultados consistentes, sin ser afectados por el tamaño del componente, complejidad o espesor.

Los resultados presentados por VISI Flow le permiten al operador visualizar y medir la forma final moldeada, después de procesar los valores de las fases de llenado, sostenimiento y enfriamiento. Muchas herramientas están disponibles para evaluar los resultados; incluyendo desplazamientos a lo largo de un eje, localizaciones de un punto para calcular deformaciones, contracciones lineales y asegurando que las deformaciones queden dentro de tolerancias. Los resultados también ayudaran a identificar cualquier posible defecto, como contracciones o rechupes causados por las condiciones de empacamiento durante el tiempo de sostenimiento. Es posible exportar el modelo final para compararlo con los datos originales CAD para una potencial ingeniería de reversa o para mejorar el diseño del molde.[17]

- **MoldFlow:**

MoldFlow es una herramienta muy poderosa en el diseño de piezas de plástico y de moldes para su inyección. Con este paquete se puede determinar la manufacturabilidad de una pieza de plástico, y todo el sistema de alimentación del molde así como el comportamiento de la temperatura y la presión, entre otros parámetros.

El paquete permite que un modelo de la pieza creado en un sistema CAD sea analizado en dos partes, primero la pieza únicamente y luego la pieza con un sistema de alimentación dentro de un molde.

Las nuevas versiones de MoldFlow introducen mejoras en la tecnología MPI/3D. El nuevo MPI 4.0 incluye la posibilidad de predecir la forma deformada de una pieza, puede analizar procesos de sobremoldeo y de inyección secuencial, así como los procesos de microchips y encapsulado.

Incluye nuevas propiedades para personalizar el producto. En respuesta a las demandas de los clientes se ha integrado una nueva interfase de programación para aplicaciones. Permite al usuario automatizar una serie de trabajos habituales, personalizar su interfase de cliente, ejecutar protocolos y hábitos estandarizados y conectarse con software de terceras partes. Todo ello reducirá el tiempo que necesitan los ingenieros para llevar a cabo tareas repetitivas.

El software mejora el modelaje y facilita más que nunca el análisis de modelos. Permite también identificar con más rapidez el material más indicado para cada pieza.

Moldflow es un programa **computacional** con el cual se puede simular el flujo de un polímero en un molde por medio de la técnica de **moldeo por inyección**. Este programa ayuda a determinar cuál es la mejor distribución de los canales y el balance correcto, esto es un paso determinante en el diseño de un molde de buena calidad, los canales con buen balance no suelen ser los que la lógica dictaría a primera vista, además permite un buen acabado de las piezas a moldear.

Además Moldflow Plastics Advisers (MPA) permite predecir y solucionar problemas de fabricación con el moldeo por inyección en las primeras fases del desarrollo del producto. Los programas MPA son fáciles de usar y de aprender a manejar y no requieren un excesivo entrenamiento ni experiencia en plásticos. Los usuarios pueden trabajar directamente usando modelos sólidos CAD en 3D, sin la necesidad de crear o incluso ver una red elaborada de elementos, ahorrando horas, días y semanas de tiempo para la preparación de modelos. Moldflow permite crear diseños partiendo de una figura básica en la que se le hacen modificaciones y se ponen a prueba para optimizar los resultados del producto o el molde.

Además es una herramienta ideal para comprobar rápidamente la viabilidad del diseño de sus piezas de plástico. Los usuarios pueden recibir una retroalimentación rápida sobre cómo las modificaciones pueden afectar al patrón de ajuste y las distribuciones de presión y temperatura en la cavidad de la pieza. Los resultados del análisis y las recomendaciones detalladas de diseño pueden usarse para determinar los espesores de pieza y las localizaciones óptimas de las puertas, y también para identificar y eliminar asuntos cosméticos tales como las líneas de soldadura, burbujas, y marcas de asentamiento. Un ejemplo de pieza lo podemos ver en la figura 3.1.

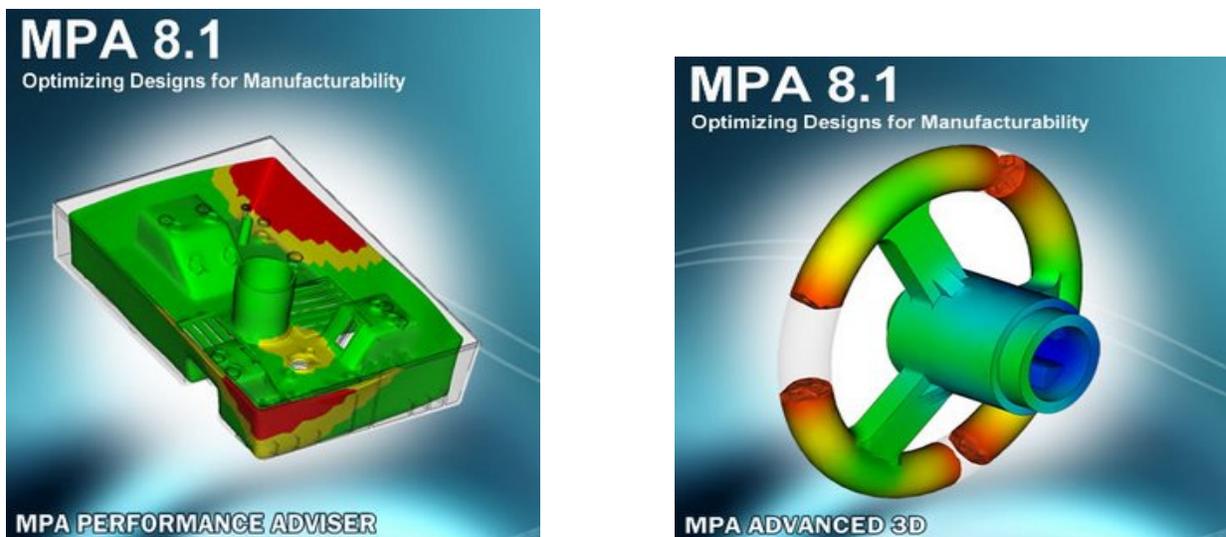


Figura 3.1: Ejemplo de pieza simulada con MoldFlow

También MoldFlow permite simular un fluido de plástico a través de moldes de cavidad única, cavidades múltiples y moldes de varias matrices. Los resultados de los análisis incluyen la duración de los ciclos, tonelaje de amarre, y tamaño de granalla, todo lo cual ayuda al equipo de diseño y

fabricación a encajar la máquina de moldeo por inyección, minimizar la duración de los ciclos y reducir el material sobrante de la fabricación.[17]

### 3.2 – Ejemplo de una pieza en SolidWork.

A continuación se muestra un ejemplo de una pieza elaborada mediante el software SolidWork. Este ejemplo muestra las facilidades y ventajas que presenta esta potente herramienta. El ejemplo de la pieza a elaborar se muestra en la siguiente figura (Figura 3.2): “CESTO DE BASURA”. [18]



Figura 3.2: Ejemplo de pieza.

En este tipo de prácticas es bueno pensar que tipo de operaciones se pueden usar, si un extrude, una revolución, un extrude con ángulo, que tipo de arreglo, etc.....

Plano de trabajo: \_\_\_\_\_

Dimensiones: mm

Revolución o extruir: \_\_\_\_\_

Operaciones a efectuar: \_\_\_\_\_

Herramientas a conocer:



Después de definir el plano frontal trabajaremos en unidades de milímetros, a continuación se muestra el croquis (Figura 3.3) a dibujar para posteriormente revolucionarlo, no olvidar la línea de ejes y sobre esa misma, la línea que forma un elemento sólido:

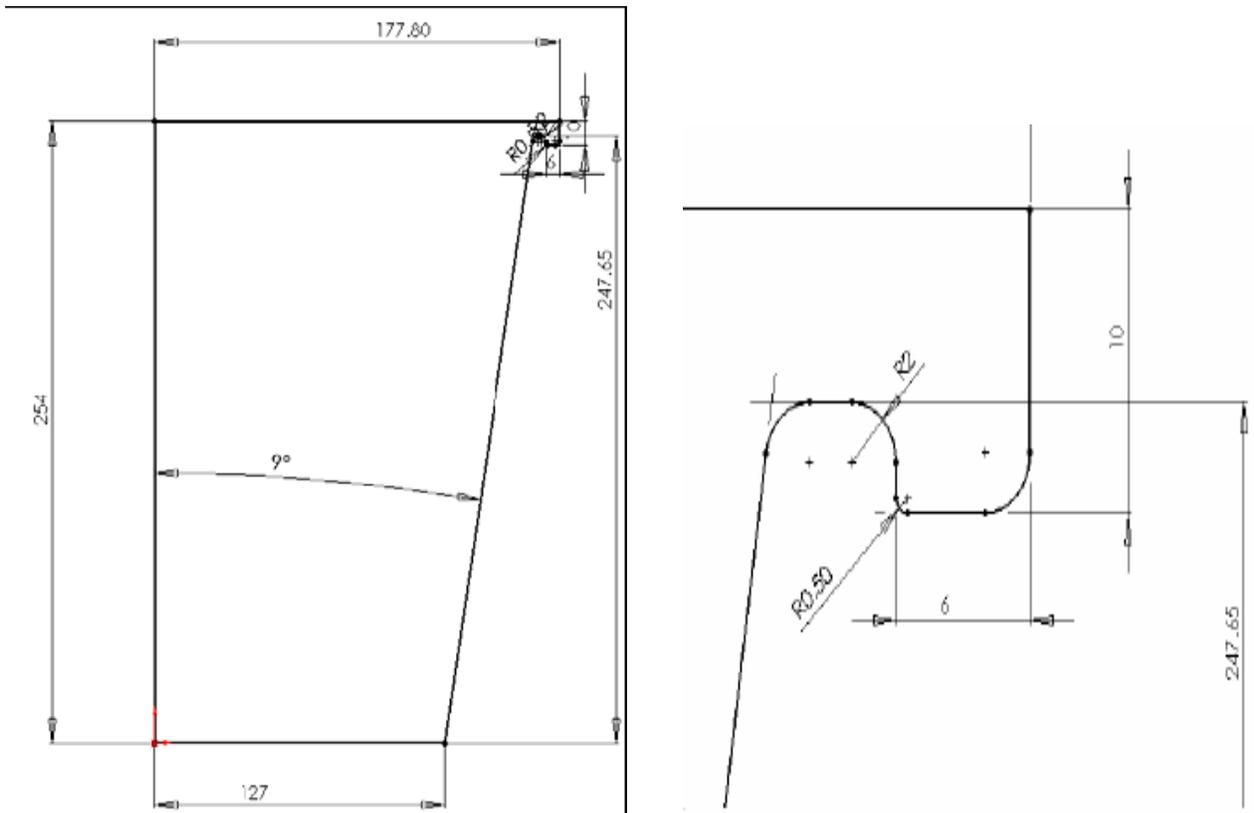


Figura 3.3: Croquis de la pieza a dibujar.

Luego de dibujar el croquis se procede a la elaboración del sólido como se muestra en la figura 3.4. Ya generada la pieza se busca en la barra de operaciones el comando vaciado, el cual nos ayudará a dar el espesor del plástico y el fondo del bote. Después de haberlo activado nos pedirá una o dos caras para hacer el vaciado, en este caso seleccionaremos la cara superior y después daremos un espesor de n mm como se muestra en la figura 3.5 y daremos OK:

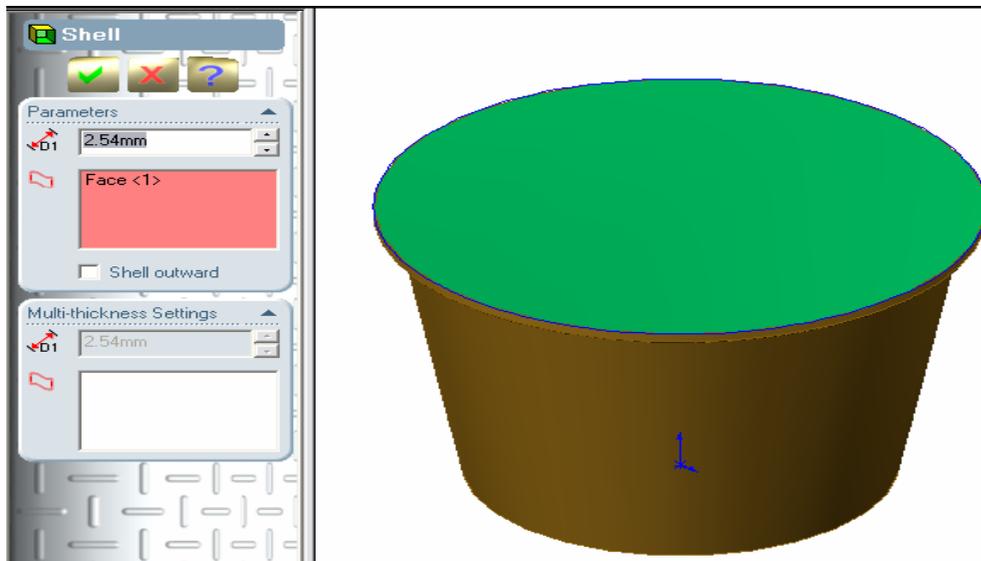


Figura 3.4: Pieza generada en un sólido.

Así es como debe de quedar después de generar el vaciado.

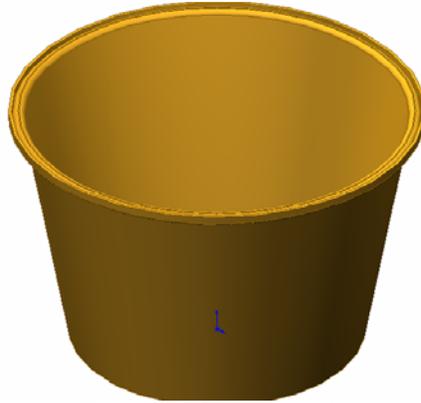


Figura 3.5: Pieza vaciada.

Como siguiente paso se selecciona el plano frontal y ahí se dibuja un croquis, se traza una línea de centros ayudada por el eje temporal automático y se comienza a dibujar un SLOT ó rectángulo con extremos redondeados como se muestra en la figura 3.6:

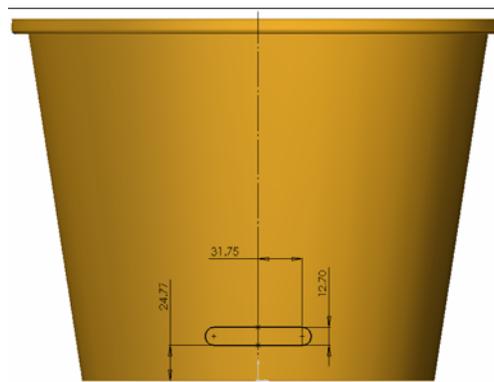


Figura 3.6: Perfil de la ranura del cesto.

Después que se ha dibujado este slot se realiza una operación de extruir con corte como se indica en la figura 3.7:

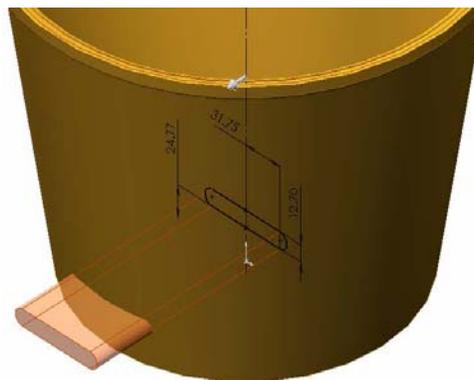


Figura 3.7: Extrude con corte la ranura.

Como siguiente paso después de haber cortado se busca en la barra de operaciones, el arreglo lineal para poder crear un arreglo de n repeticiones con un espacio de separación entre la cara inferior y la cara superior como se muestra en la figura 3.8.

NOTA: "PARA ESTE COMANDO Y EL DE CIRCULAR PATTERN (ARREGLO CIRCULAR) SIEMPRE NOS VA A PEDIR DIRECCIÓN Y OPERACIONES A ARREGLAR".

En esta imagen, se da como dirección la cota inferior que se muestra en la parte interna de la elipse señalada con un recuadro gris con blanco, se introduce la distancia y número de elementos.

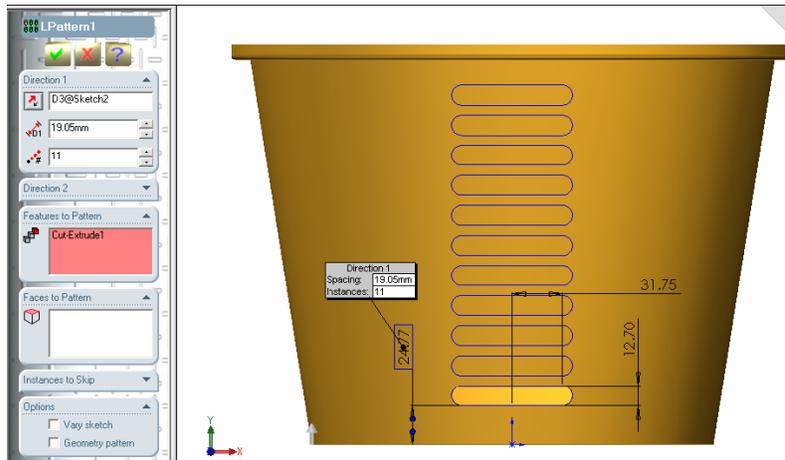


Figura 3.8: Arreglo lineal de la ranura.

A continuación la parte arreglada (Figura 3.9):

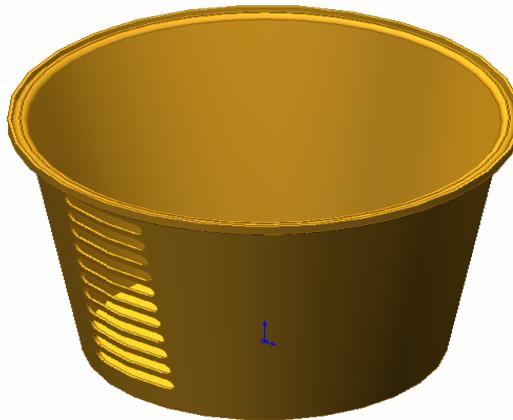


Figura 3.9: Pieza con arreglo lineal de la ranura.

Como paso siguiente se crea un arreglo alrededor del bote. En la barra de operaciones se busca la operación de arreglo circular y se introduce un número de n elementos, después de activar el arreglo, se activan los ejes temporales ya vistos anteriormente y aparece lo siguiente (Figura 3.10):

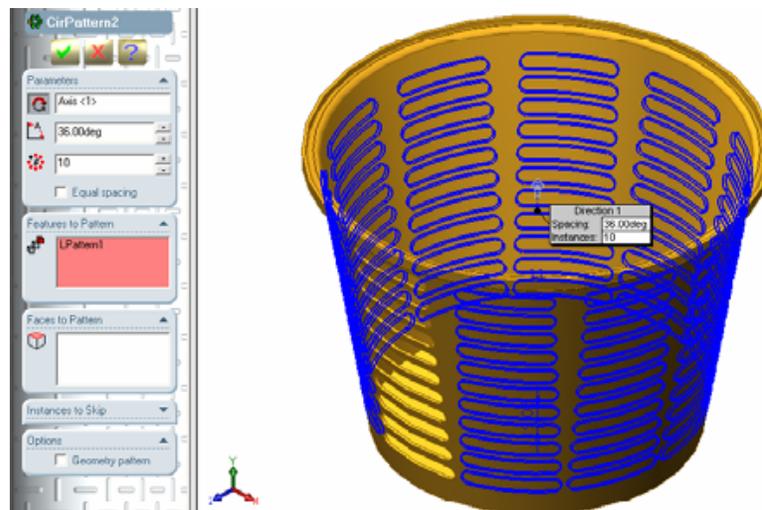


Figura 3.10: Arreglo radial de la ranura.

Luego de este paso queda finalizada nuestra pieza (Figura 3.11).



Figura 3.11: Pieza final elaborada.

### **Conclusiones parciales.**

En este capítulo hemos abordado algunos software de gran aplicación en el diseño optimizado de los moldes de inyección, con sus características y ventajas más relevante. Sin duda hay que destacar que con la utilización de los mismos, se mejora la calidad de los productos con una mayor rapidez, además que permite simular y determinar los errores que se puedan cometerse en el diseño del producto o del molde. En el mundo se siguen perfeccionando estos programas, por eso la importancia de estudiarlos, conocerlos y explotarlos ya que han demostrado rapidez, calidad y un ahorro de tiempo en los procesos de inyección, fabricación de moldes y diseño.

*Conclusiones*

**CONCLUSIONES GENERALES:**

De la revisión bibliográfica y los resultados de este trabajo se puede concluir que:

- Conocer las ventajas que brindan los diferentes softwares para una optimización del diseño de moldes por inyección de plástico.
- Trabajar sobre las bases de logísticas que aceleran y mejoran el aseguramiento y suministro de materiales.
- Ha sido posible plantear todo lo relacionado con el diseño y fabricación de los moldes por inyección de plástico de una forma generalizada.
- Para el correcto diseño, fabricación y puesta en el mercado de moldes por inyección de plástico es recomendable el uso del método de trabajo de la Ingeniería concurrente por la rapidez de integración y compartición de la información entre las diferentes empresas.
- El diseñador y el tecnólogo tienen que tener una buena comunicación para que el producto no tenga errores de medición, de contracción, ni presente rechupes ni otros defectos en la pieza para que no hallan pérdidas de tiempo ni material, factores mas costosos en estos procesos.
- Tanto el diseñador como el tecnólogo deben dominar bien todas las características y propiedades de los materiales plásticos para garantizar un correcto diseño del molde.

## *Recomendaciones*

**RECOMENDACIONES:**

- Realizar estudios más profundos sobre las propiedades, características y tipos de materiales termoplásticos y termoestables.
- Continuar con la búsqueda de parámetros que influyen en el llenado de los moldes y en los canales de alimentación.
- Profundizar en el diseño de otras partes del molde como son los insertos, roscas y sus recomendaciones.
- Realizar un estudio de diseño sobre otras herramientas para el conformado.

# *Bibliografía*

**BIBLIOGRAFÍA:****Bibliografía Referenciada:**

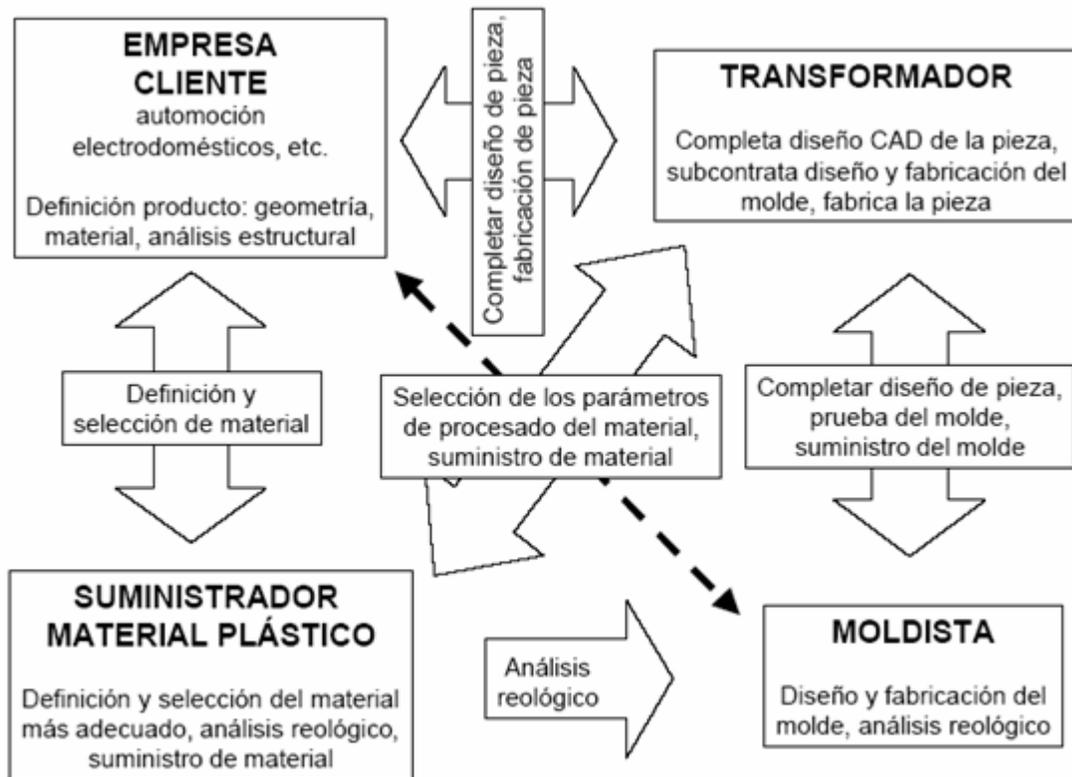
1. Erreka, I. *Materiales plásticos para la fabricación de piezas a medida por inyección.*
2. *Diseño de moldes, fabricación en plásticos, inyección de plásticos y de aluminio. Ubicado en: <http://www.indros.net>*
3. J. Brydson, *Plastics Materials*, Butterworths 9th Ed (1999).
4. Joaquín Barreiro, J.L., A.V. José Ríos, Jesús M<sup>a</sup> Pérez, Juan J. Márquez, and M.M. Xavier Pastor., "*Ingeniería Concurrente en el diseño de moldes de inyección*".
5. Autores, C.d., *Guía de diseño de utillaje rápido para inyección de plástico.*
6. Fadón Salazar, F.C.H., José E. (2); Valencia Fernández, David., *Diseño de troqueles de estampación mediante modelado sólido.*
7. Salazar, F.F., E.V. Lobete, and J.E.C. Hoyos, *Animación del funcionamiento de un troquel.*
8. Morales Nieves, R.A., *Metodología a Seguir en el Diseño de un Molde de Inyección Utilizando Herramientas de Computación (CAD/CAM/CAE).*
9. Morton-Jones, D.H.P.d.p.l., *Moldeado, Inyección, Extrusión.* México: Limusa, 1999. ISBN 968-18-4434-3
10. Sánchez Valdés, S.R.F., Oliverio S.; Yáñez Flores, Isaura G., *Proceso de fabricación. Conformado por moldeo e inyección de termoplásticos.* 2003.
11. Turng1, S.-W.K.a.L.-S., *Developments of three-dimensional computer-aided engineering simulation for injection moulding.*
12. Autores, C.d., *Diseño de moldes para plásticos.*
13. Autores, C.d., *Cristalización.*
14. Autores, C.d., *Proceso de fabricación. Conformado por moldeo e inyección de termoplásticos.*
15. *SolidWorks. Documentación técnica para el cliente.*
16. Autores, C.d., *El control de los parámetros en la inyección de plástico.*
17. *Software de simulación de SolidWorks.*
18. Vázquez, I.A.G., *Manual para usuario.*

**Bibliografía no Referenciada:**

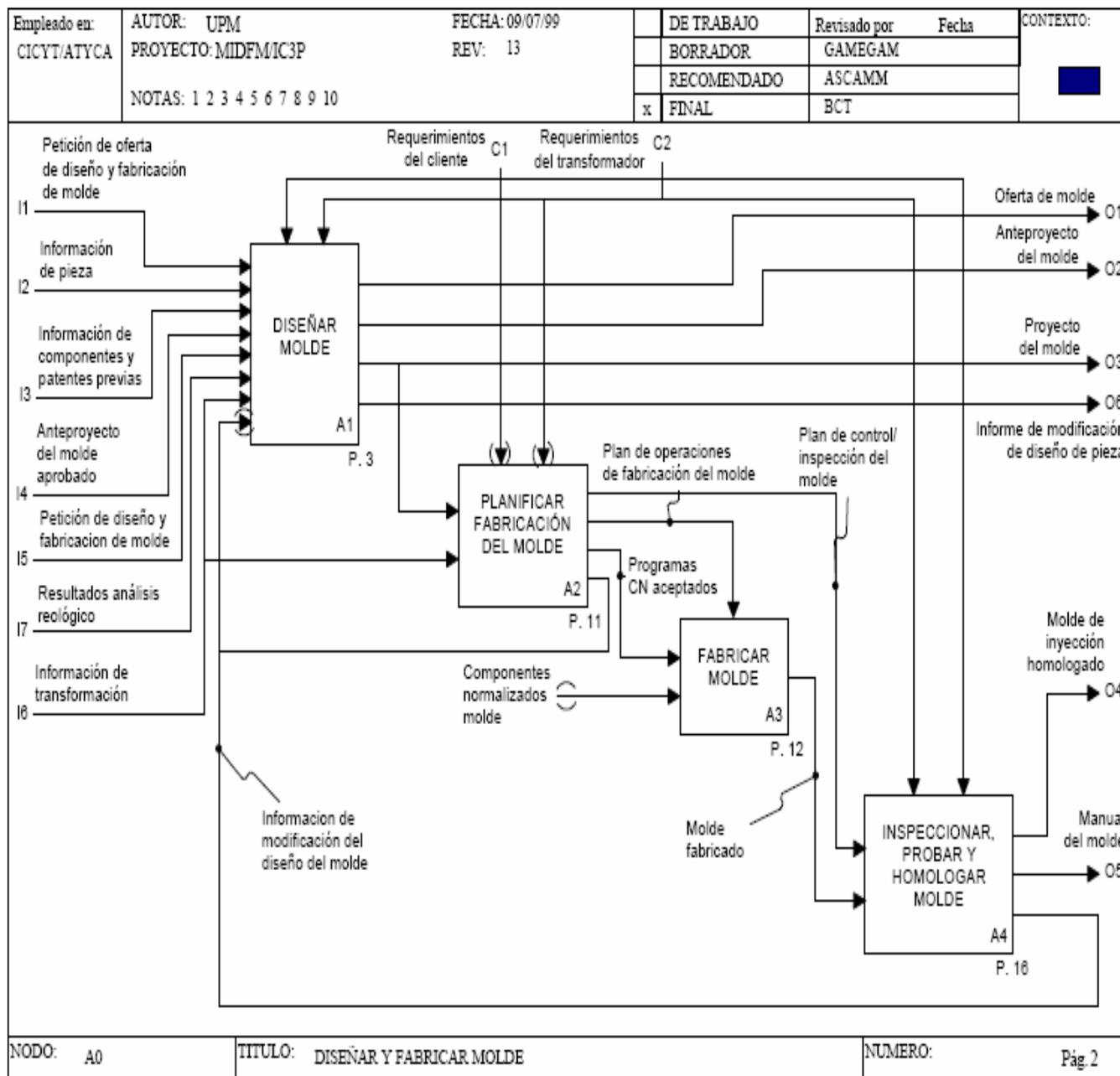
19. *Jornadas Internacionales de Envases y Envalajes de Plásticos*
20. *Injection Molding*
21. Autores, C.d., *Diseño de moldes para inyección.*
22. *CONOCIMIENTOS BÁSICOS DE TROQUELES.*
23. ANGEL, R.P.M., *Aplicación de los sistemas de diseño asistido por ordenador al diseño automático de moldes de inyección.* 2000.

24. Anibal., R.D., *Diagnóstico Automático de Útiles Multifilo en Maquinas - Herramienta de Mecanizado en Serie* 2004.
25. Bryce, D.M.P.i.m.m.p.f.D.S.o.M.E., *Moldeo por inyección*. 1996. ISBN 0-87263-472-8
26. Gonzalo, V.R., *Sistema automático de planificación aplicado al torneado de piezas de revolución*. 2003.
27. Marczyk, A., *Algoritmos genéticos y computación evolutiva*.
28. Paramio, M.Á.R., *Aplicación de los sistemas de diseño asistido por ordenador al diseño automático de moldes de inyección..*
29. R.Aguirre-Flores, *Sin molde no hay inyección*.
30. Rivas, A.M. and M.C. Sifuentes, *Una Aplicación de los Algoritmos Genéticos en la Discriminación*.
31. RONEI., P.F.C., *Supervisión inteligente del proceso de mecanizado en una máquina - herramienta*. 2000.
32. Lewis, P.R., Reynolds, K., Gagg, C., *Forensic Materials Engineering: Case studies*. 2004.
33. Robert H Todd, 1994. *Diseño del molde por inyección*, pgs. 240-245

*Anexos*



Anexo 1: Ciclo productivo en la fabricación de piezas de plástico.

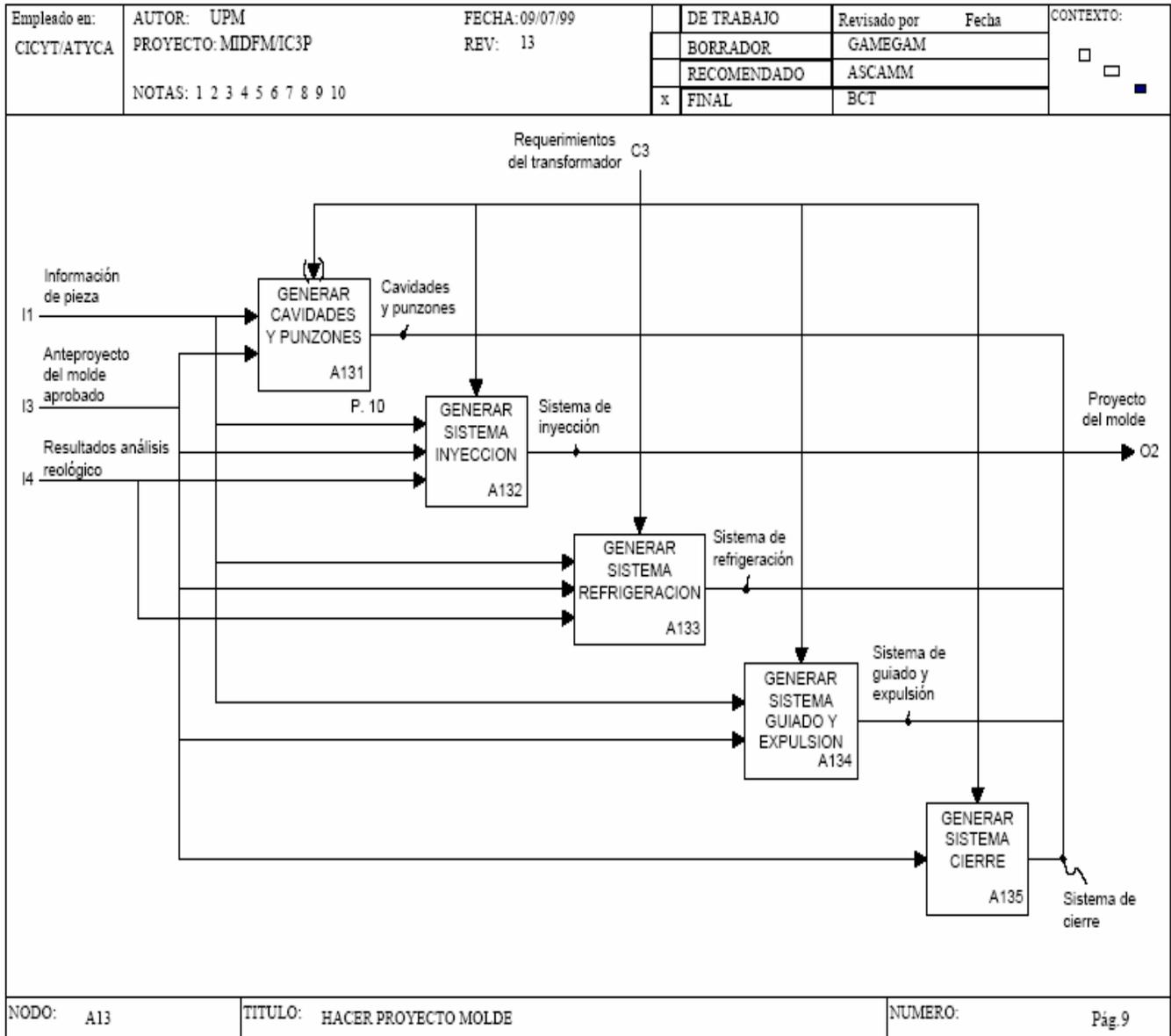


NODO: A0

TITULO: DISEÑAR Y FABRICAR MOLDE

NUMERO: Pág. 2

Anexo 2: "Actividad diseñar y fabricar molde".



Anexo 3: Nodo A13 “Hacer proyecto del molde”.

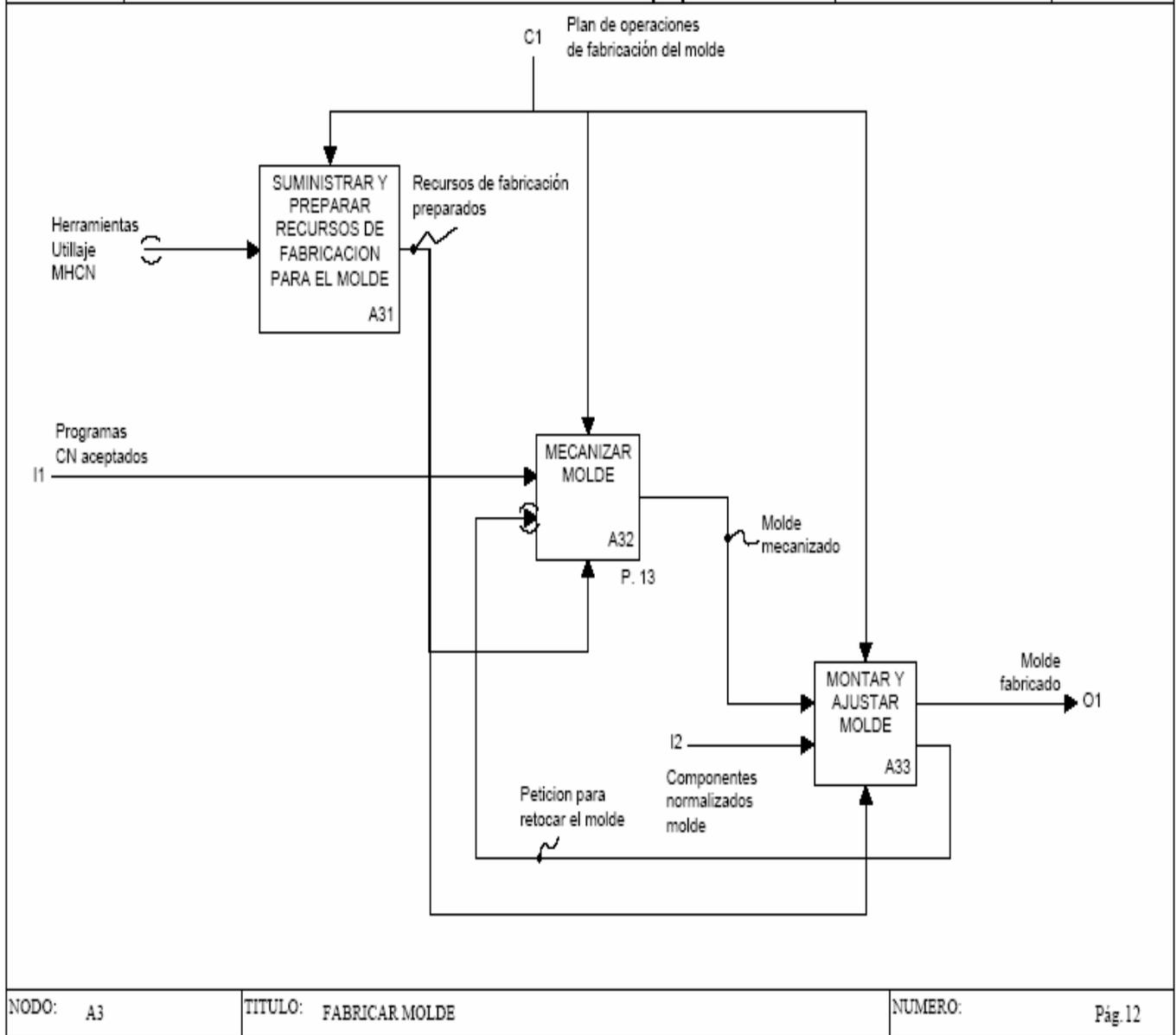
NODO: A13

TITULO: HACER PROYECTO MOLDE

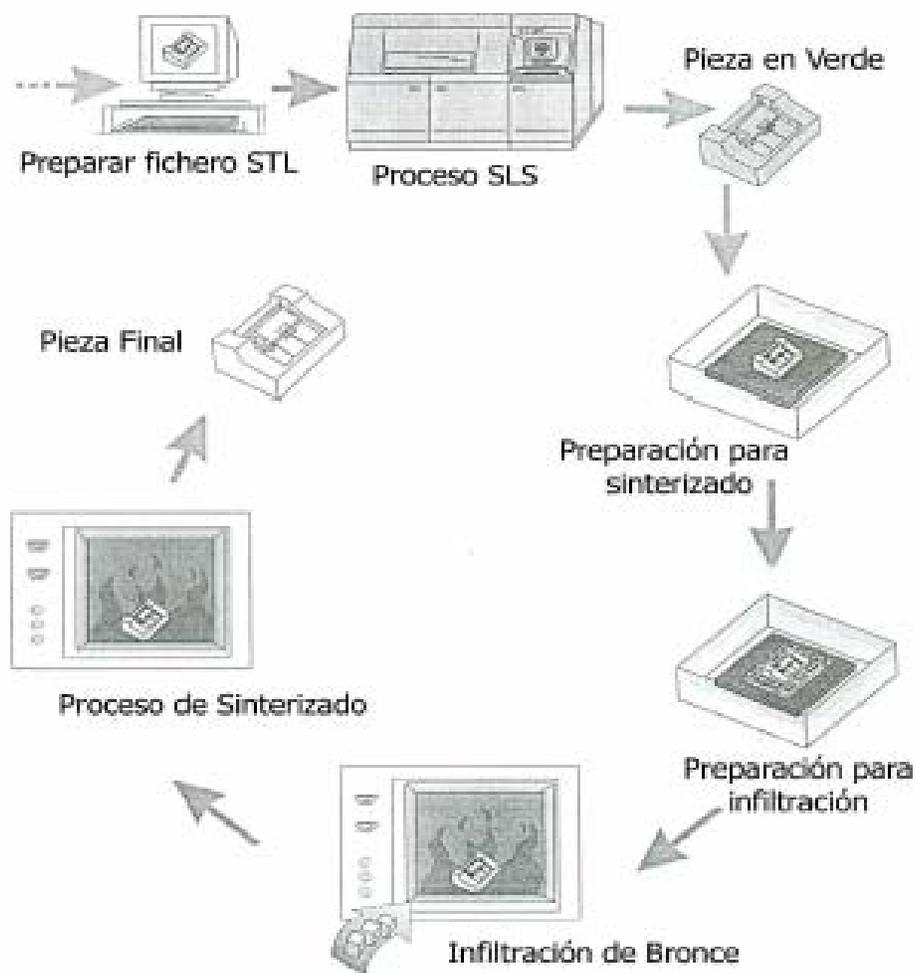
NUMERO:

Pág. 9

Empleado en: CICYT/ATYCA	AUTOR: UPM	FECHA: 09/07/99	DE TRABAJO	Revisado por	Fecha	CONTEXTO: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	PROYECTO: MIDFMIC3P	REV: 13	BORRADOR	GAMEGAM		
	NOTAS: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMENDADO	ASCAMM		
			x FINAL	BCT		

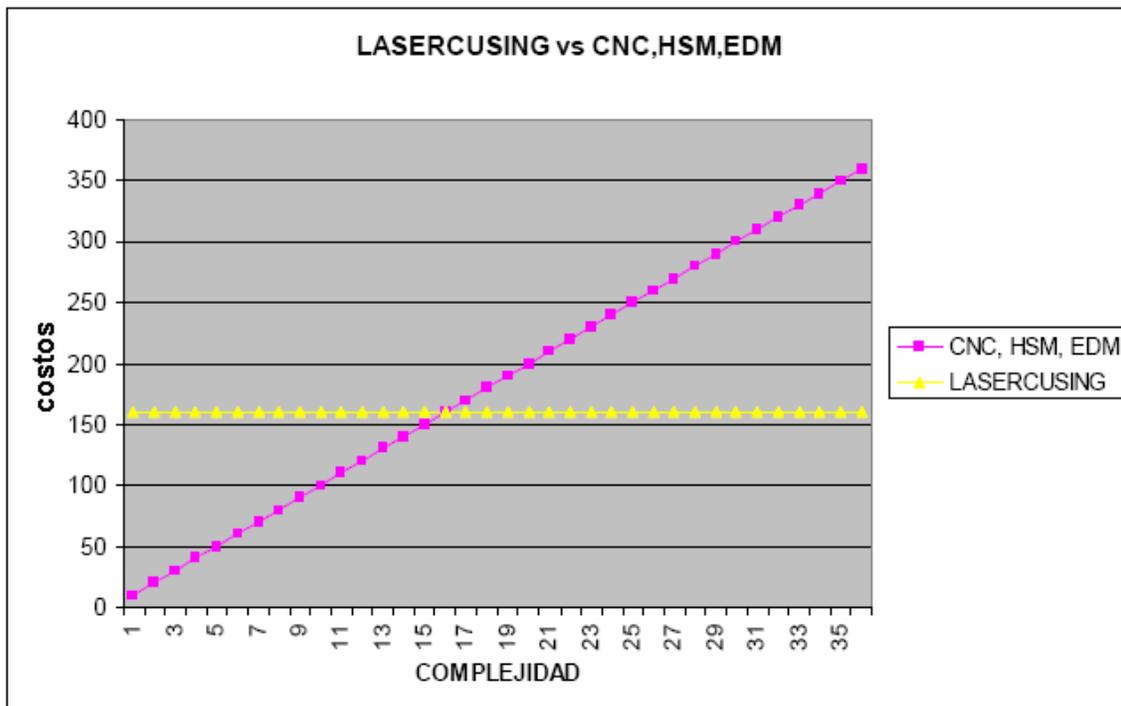


**Anexo 4: Nodo A- "Fabricar molde".**



Anexo 5: Ciclo de la pieza.

<i>Proceso</i> Mecanizado	<i>tiempo</i> 8	<i>Proceso</i> lasercusing	<i>tiempo</i> 20h	Postizo de 30x30x30 con nervios de 25mm de profundidad.						
<i>Mec. electrodos</i>	10									
<i>EDM</i>	15									
	<b>33 h</b>		<b>20h</b>							
<i>Proceso</i> Mecanizado	<i>tiempo</i> 8	<i>Proceso</i> lasercusing	<i>tiempo</i> 24h	Postizo de 30x30x30 sin nervios						
<i>Mec. electrodos</i>	0									
<i>EDM</i>	0									
	<b>8 h</b>		<b>24h</b>							



Anexo 6: Comparación del proceso lasercusing con las maquinas convencionales.

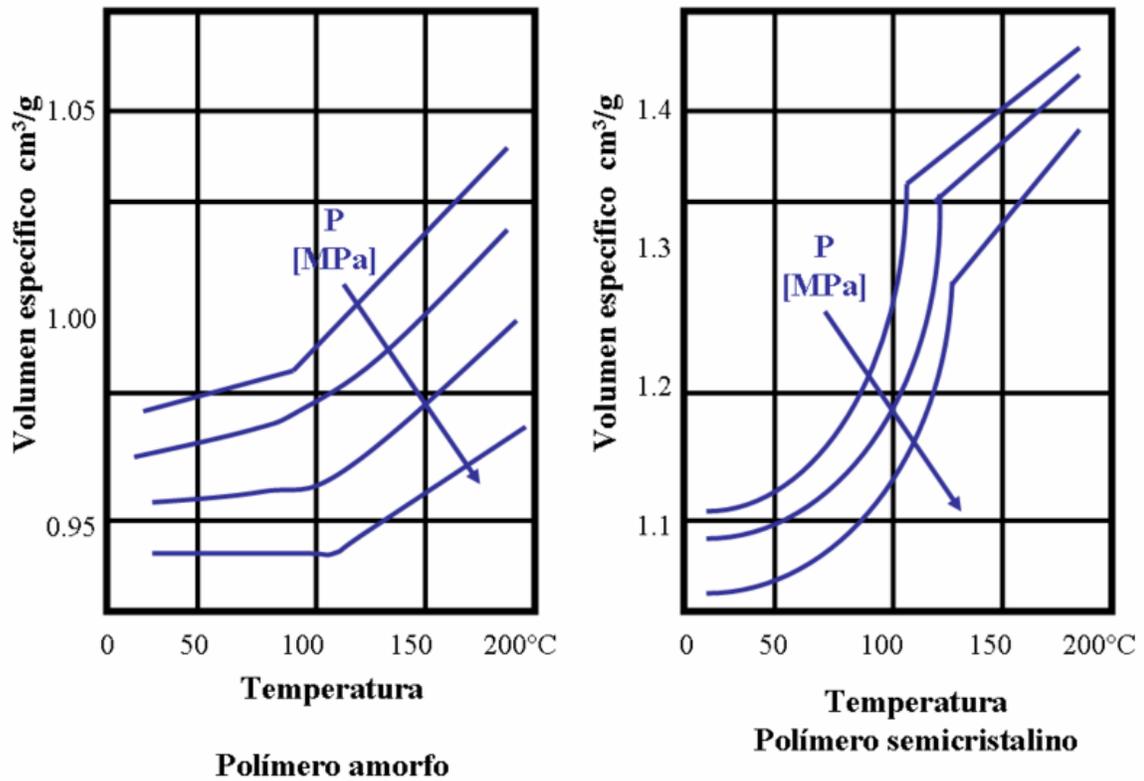
GRADO					0.5		1	1.5	2	3
PORCIENTOS		0.2	0.3	0.5	0.87	1	1.7	2.6	3.5	5.2
mm		MEDIDAS DA LA CONICIDAD "X" EN MM								
PROFUNDIDAD DEL ARTICULO "S" EN MM	10	0.02	0.03	0.05	0.087	0.10	0.17	0.26	0.35	0.52
	20	0.04	0.06	0.10	0.175	0.20	0.35	0.52	0.70	1.04
	30	0.06	0.09	0.15	0.26	0.30	0.51	0.78	1.05	1.56
	40	0.08	0.12	0.20	0.35	0.40	0.68	1.04	1.40	2.08
	50	0.10	0.15	0.25	0.43	0.50	0.85	1.30	1.75	2.60
	60	0.12	0.18	0.30	0.52	0.60	1.02	1.56	2.10	3.12
	70	0.14	0.21	0.35	0.61	0.70	1.20	1.82	2.45	3.64
	80	0.16	0.24	0.40	0.69	0.80	1.36	2.1	2.80	4.16
	90	0.18	0.27	0.45	0.78	0.90	1.53	2.34	3.15	4.68
	100	0.20	0.30	0.50	0.87	1.00	1.70	2.60	3.50	5.20
	150	0.30	0.45	0.75	1.30	1.50	2.50	3.90	5.20	7.80
	200	0.40	0.60	1.00	1.70	2.00	3.50	5.20	7.00	10.40
	250	0.50	0.75	1.20	2.20	2.50	4.30	6.50	8.70	13.00
	300	0.60	0.90	1.50	2.60	3.00	5.20	7.80	10.50	15.60
	350		1.00	1.70	3.10	3.50	6.00	9.10	12.20	18.20
	400			2.00	3.50	4.00	6.90	10.40	14.00	20.80
450				3.90	4.50	7.80	11.70	15.70	23.40	
500					5.00	8.70	13.00	17.50	26.00	

**Anexo 7: Conicidad "X" del artículo en función de la profundidad.**

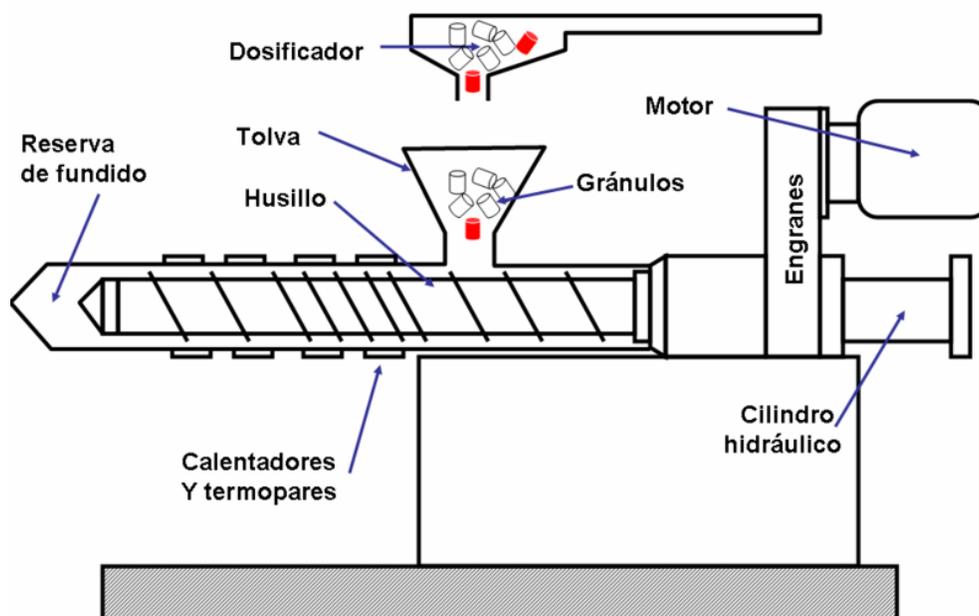
<b>Material Termoplásticos</b>	<b>Espesor Mínimo</b>	<b>Espesor Promedio</b>	<b>Espesor Máximo</b>
ABS	0.80	2.00	3.00
Acrilico	0.65	2.00	6.30
Celulosicos	0.65	1.80	4.70
FEP	0.35	0.80	12.50
Nylon	0.40	1.50	3.00
Policarbonato	1.00	2.30	9.50
Polietilino.B.D	0.50	1.50	6.30
Polietileno.A.B	0.90	1.50	6.30
EVA	0.50	1.50	3.00
Polipropileno	0.65	2.00	7.80
Polisulfona	1.00	2.70	9.50
Poliestireno	0.70	1.50	6.30
SAN	0.70	1.50	6.30
PVC-Rigido	1.00	2.30	3.00
Poliuretano	0.65	12.50	38.00

<b>Material Termoestable</b>	<b>Espesor Minimo</b>	<b>Espesor Promedio</b>	<b>Espesor Maximo</b>
Alkidos. Relleno con fibra de vidrio	1.00	6.30	12.50
Alkidos. Relleno con fibra de mineral	1.00	4.50	9.50
Melamina	0.80	2.50	4.50
Urea	0.80	2.50	4.50
Fenol	1.20	6.30	25.00
Fenol. Relleno con fibra de vidrio	0.80	2.30	19.00
Fenol. Relleno con fibra de mineral	3.00	4.70	25.00

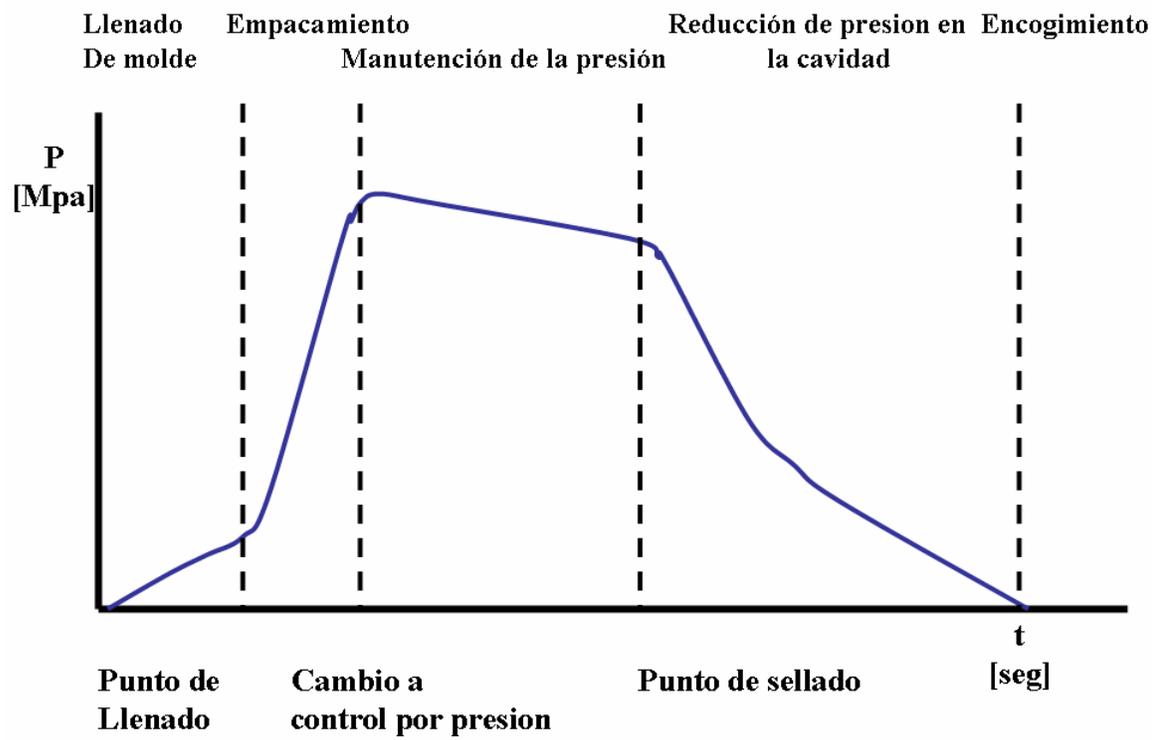
**Anexo 8: Espesores de pared recomendados para diferentes polímeros.**



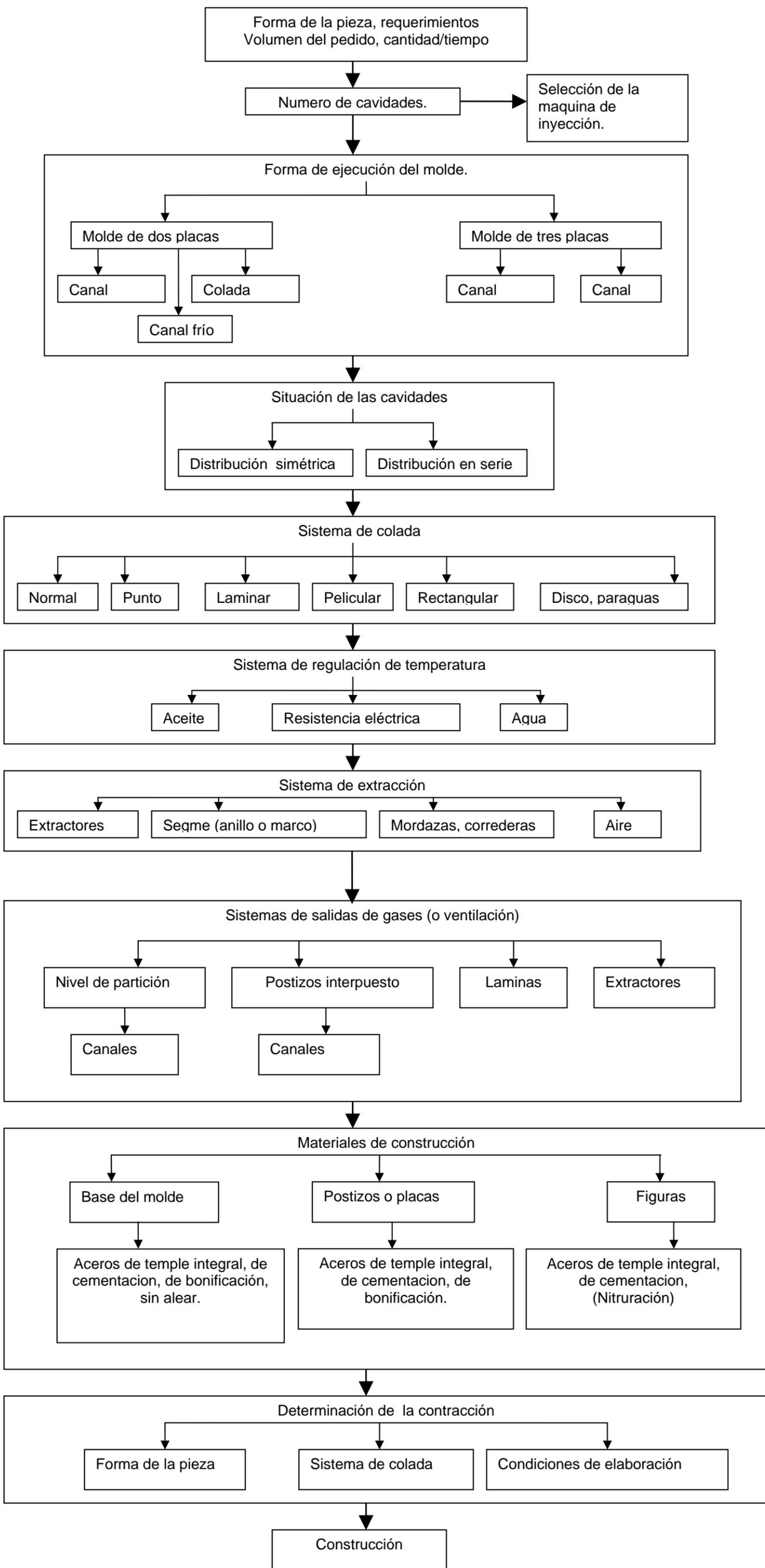
Anexo 9: Relaciones de presión – volumen – temperatura de un Polímero



Anexo 10: Diseño genérico de la unidad de inyección.



Anexo 11: Llenado de molde por inyección.



Anexo 12: Esquema para la construcción metódica y planificada de moldes por inyección de plásticos.

DATOS DE 100 MOLDEADAS/ CAVIDAD						
Grupo de complejidad del molde.	Tratamientos de las cavidades del molde	Tipo de material				
		PE PP ABS - SAN	PS PS - C	PA	PVC	PMM A
Sin requerimientos especiales de cavidad en dimensiones y superficies. Formas geométricas sencillas. Bordes no complicados sin contornos agudos ni insertos o roscas que puedan provocar roturas.	Sin tratamiento térmico	320	190	255	225	115
	T.Termoquímico.	400	240	320	280	145
	Endurecido total.	500	300	400	360	180
Requerimientos de calidad normal en las medidas (según la norma TGL) y en la superficies del a pieza con la utilización de la presión máxima. Moldes de cuñas grandes o pequeños.	Sin tratamiento térmico	255	160	225	175	95
	T.Termoquímico.	320	200	280	220	115
	Endurecido total.	400	250	350	280	140
Altos requerimientos de calidad en las dimensiones o superficies de piezas geométricas complicadas. Moldes complicados con piezas móviles, tales como columna inclinadas, cuñas cremalleras y otros.	Sin tratamiento térmico	190	130	115	95	70
	T.Termoquímico.	240	160	145	120	90
	Endurecido total.	300	200	180	160	110
Requerimientos especiales de exactitud en las dimensiones y superficies de las piezas de geometría complicada. Moldes complejos con piezas móviles para el desmoldeo automático de rosca, varias superficies de partición, etc.	Sin tratamiento térmico	105	95	95	75	50
	T.Termoquímico	130	120	115	95	65
	Endurecido total.	160	150	140	120	85

**Anexo 13: Cantidad de moldeadas que se pueden hacer dependiendo del tratamiento térmico de las cavidades, el material a moldear y la complejidad de las cavidades.**

Material plastico	Temperatura de elaboración °C Te	Temperatura del molde °C Tm	Temperatura máxima de desmoldeo °C Td
ABS	180- 240	20- 60	100- 120
Acetato de celulosa	180- 230	40- 80	80- 100
Acetobutirato de celulosa	180 – 220	40- 80	80- 100
Propianato de celulosa	180- 220	40- 80	80- 100
Poliamida 66 (Nylon)	260- 300	40- 120	150
Poliamida 6	240- 290	20- 120	150
Polycarbonato	280- 310	80- 180	150
Polietileno .B.D	170- 260	-4- 40	80
Polietileno .A.D	220- 320	-4- 50	95
Poliestireno general	200- 250	20- 60	75
Poliestireno (A impacto)	200- 250	20- 60	75
PVC (Flexibles)	180- 210	20- 60	70- 80
PVC (rígidos)	160- 190	20- 60	70- 80
SAN	230 -260	20- 60	90
Polipropileno	180- 300	20- 60	100

**Anexo14: Valores recomendados de temperatura de elaboración. Temperatura de molde y temperatura de desmoldeo para diferentes termoplásticos.**