



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"**

**"FABRICACIÓN DE PIEZAS POLIMÉRICAS
MEDIANTE EL PROCESO DE INYECCIÓN"**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
(ÁREA MECÁNICA)**

P R E S E N T A N :

**DAVID ISMAEL QUINTERO DÍAZ
JOEL FRANCISCO MARTÍNEZ GUZMÁN**

Asesor: Ing. DÁMASO VELÁZQUEZ VELÁZQUEZ

ESTADO DE MÉXICO

FEBRERO DE 2014





AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme concedido la fortaleza necesaria para solventar todos los problemas que se presentaron.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de realizar una de mis metas.

A todos mis Maestros, que con su sapiencia me fueron guiando para obtener lo mejor de ellos.

A mi Madre, que con su apoyo y palabras de aliento, me animaron a seguir adelante.

A mi Tío Chavo, por su guía y apoyo ya que sin su ayuda y comprensión, no hubiera sido posible realizar este proyecto.

A Iveth, por su comprensión, apoyo y aliento en los momentos difíciles.

A mi hijo David, por regalarme sus sonrisas y abrazos que siempre me motivaron a no desfallecer y seguir adelante.

A todas las personas que con su apoyo y palabras de aliento, me animaron a seguir adelante.

A todos ellos, mi eterno agradecimiento.

David Ismael Quintero Díaz



AGRADECIMIENTOS

A mi madre y a mi padre por el amor, la atención, la paciencia y los consejos incondicionales brindados a lo largo de mi existencia; porque todo lo que he obtenido y culminado ha sido gracias a su ahínco y dedicación. Por haberme otorgado la oportunidad que ella y él no tuvieron: tener una formación académica.

A mi hermana por el afecto, la ayuda incondicional y la confianza proporcionadas; ya que ella ha cooperado para llevar al cabo esta meta.

A mi tío profesionista porque siempre he contado con su apoyo, su aprecio y su deseo de auxiliarme en lo que requiera.

A mi abuela y a mi abuelo porque han formado parte de mi vida y me han ofrecido cariño, aprecio y sostén en todo momento.

Al personal docente de la FES Aragón que contribuyó a mi formación profesional; en especial al Ing. José Santana y a la Inga. Smyrna Rivera, a quienes considero los mejores profesores de la extinta carrera profesional IME.

A mi compadre, comadre y ahijado por la ayuda brindada y el tiempo y anécdotas que hemos compartido.

A todas aquellas personas que intervinieron directa e indirectamente en la realización de este propósito; en especial a las que me motivaron después de haber concluido la carrera profesional.

A todas aquellas personas que me han ofendido, maltratado y/o menospreciado, porque eso también me ha fomentado para alcanzar este objetivo.

¡MUCHAS GRACIAS A TODAS Y TODOS USTEDES!

Joel Francisco Martínez Guzmán



ÍNDICE

GLOSARIO	6
INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVO	10
JUSTIFICACIÓN.....	10
CAPÍTULO I FUNDAMENTOS	12
1.1 HISTORIA DEL PLÁSTICO.....	13
1.2 APLICACIONES DEL PLÁSTICO	16
1.3 PROCESOS DE FABRICACIÓN DEL PLÁSTICO Y MÁQUINAS UTILIZADAS	17
1.4 LA MÁQUINA DE INYECCIÓN	19
1.4.1 Tipos de máquinas de inyección.....	19
1.4.2 Estructura de la máquina de inyección	20
1.4.3 Características principales de una máquina de inyección	34
1.4.4 Condiciones de operación de una máquina de moldeo por inyección	36
1.4.5 Regulación de los parámetros de moldeo.....	37
1.4.6 Ajustes en la máquina para eliminar defectos y depresiones superficiales en la pieza	39
CAPÍTULO II DISEÑO DEL MOLDE	41
2.1 ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO DEL MOLDE.....	42
2.1.1 Descripción de la pieza	42
2.1.2 Diseño de la pieza	43
2.1.3 Material de fabricación de la pieza.....	43
2.1.4 Datos para cálculos del asta bandera.....	43
2.1.5 Cálculos para asta bandera	44
2.1.6 Información complementaria para la fabricación del producto	46
2.2 FUNCIÓN Y CONSTITUCIÓN DEL MOLDE.....	48
2.3 PARTES BÁSICAS DE UN MOLDE	50
2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS MOLDES	52
2.5 NOMENCLATURA DE LOS MOLDES	53
2.6 POSICIÓN DE LA PIEZA Y NÚMERO DE CAVIDADES	54
2.7 SISTEMA DE INYECCIÓN (ALIMENTACIÓN)	55
2.7.1 Fluido de material al inyectar en un molde	56
2.8 SALIDA DE AIRE	57
2.9 SISTEMA DE EXPULSIÓN	57
2.9.1 Configuración de las varillas expulsoras	57
2.9.2 Sistemas de recuperación o cierre.....	59
2.10 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	60
2.10.1 Disposición del sistema de refrigeración.....	62



CAPÍTULO III MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y TRATAMIENTOS.....	64
3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS	65
3.1.1 Limitaciones de aceros para moldes.....	69
3.1.2 Comparación entre el aluminio y el acero.....	69
3.2 ACEROS PARA MOLDES DE INYECCIÓN	71
3.2.1 Aceros de cementación	71
3.2.2 Aceros bonificados.....	72
3.2.3 Aceros resistentes a la corrosión.....	72
3.2.4 Aceros de templado total	73
3.2.5 Aceros nitrurados.....	73
3.3 TRATAMIENTOS TÉRMICOS	74
3.4 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.....	75
3.5 TRATAMIENTOS TERMOQUÍMICOS	75
3.6 ELECCIÓN DE LOS MATERIALES Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA EL MOLDE.....	76
CAPÍTULO IV TIPOS DE PLÁSTICOS	78
4.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS	79
4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS	80
4.2.1 Polímeros termoplásticos.....	80
4.2.1.1 Propiedades y aplicaciones	80
4.2.2 Polímeros termoestables o termofijos.....	91
4.2.3 Elastómeros.....	92
4.2.4 Valores de las contracciones de los termoplásticos.....	92
4.3 PRUEBA DE IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS	93
4.3.1 Pirólisis (prueba a la flama)	93
CONCLUSIONES	97
BIBLIOGRAFÍA	98
MESOGRAFÍA.....	99
APÉNDICE.....	100



GLOSARIO

Acritud: endurecimiento o fragilidad que experimentan algunos metales al ser trabajados en frío.

Alabeo (o rechupe): la curva o doblez de las piezas que ocurre por lo general después de la expulsión, cuando la pieza se enfría

Ángulo de desmoldeo: la cantidad de conicidad en los lados del molde y la pieza moldeada requerida para la eliminación fácil de la parte moldeada del molde. (El grado de conicidad en la pared lateral o el ángulo del espacio libre diseñado para facilitar la eliminación de las piezas de un molde.)

Barra guía: las espigas o barras en el molde que aseguran que se alinee apropiadamente las mitades del molde. Los elementos que mantienen la alineación apropiada del émbolo de fuerza y la cavidad cuando el molde se cierra.

Barras de expulsión: las espigas de acero incrustadas en la cavidad del molde y conectadas a una placa separada de atrás del molde. La placa de expulsión está actuando cuando se abre el molde para forzar las espigas de expulsión contra la pieza moldeada y para empujarla fuera de la cavidad.

Bebedero: el canal para el flujo del material de la boquilla del cilindro de inyección hasta los canales del molde.

Boquilla: el extremo anterior de un cilindro de inyección, que restringe el flujo de material caliente por un orificio pequeño. La boquilla está diseñada para formar bajo la presión un sello entre el cilindro de calentar o la cámara de transferencia y el molde. El extremo anterior de la boquilla puede tener forma plana o esférica.

Canal (se refiere al molde): en un molde de inyección o transferencia, el canal que conecta el bebedero con la entrada y la cavidad.

Capacidad de disparo (inyección): la cantidad de material que es capaz de inyectar la máquina en un ciclo; generalmente se mide en centímetros cúbicos o en gramos y debe ser mayor que la cantidad de material necesario para llenar el molde.

Capacidad de plastificación: la indicación de la cantidad de material referido a una hora de producción que puede procesar la máquina.

Carga: la cantidad de material requerida para llenar las cavidades del molde.

Cavidad: la parte del molde que forma la superficie exterior de la pieza moldeada. Dependiendo del número de tales, los moldes están diseñados como monocavidad o multicavidad. Gracias a que el plástico se encoge o contrae, la cavidad está siempre del lado fijo. Si se llega a quedar la pieza del lado fijo es porque se está sobreempacando el plástico o tiene algún negativo la cavidad.



Ciclo: el tiempo que se tarda en completar una operación de moldeo. Incluye la carga del molde, el cierre, la curación, la abierta del molde y expulsión de la pieza del molde. En moldeo, el tiempo del ciclo es el periodo, o tiempo pasado, entre un punto cierto en un ciclo y el mismo punto del próximo.

Colada: el canal que conecta la boquilla del cilindro de inyección con el sistema de canales del molde.

Contrapresión: la presión desarrollada en el material por la rotación del tornillo cuando se introduce por la fuerza el material en el tambor. (La resistencia de un material a causa de su viscosidad, para continuar fluyendo cuando está cerrado el molde.)

Corazón (macho): al contraerse el plástico, este se adhiere fuertemente por lo que al abrirse el molde es más fácil desmoldearlo. Esta parte se deja abierto todo el caudal del agua a fin de enfriar la pieza en el menor tiempo posible.

Entrada: una abertura pequeña y restringida entre el extremo del canal y el borde de la cavidad de un molde de inyección.

Escayola: yeso espejuelo calcinado.

Fosgeno: es un componente químico industrial utilizado para fabricar plásticos y pesticidas.

Ignífugo: que protege contra el fuego.

Molde: una forma hueca de la cavidad en que el material de plástico líquido está introducido para dar la forma del componente requerido un molde con multicavidades es aquel que contiene varias cavidades de tamaños y formas diferentes. (Un molde de multicavidad en donde cada de las cavidades forman una de las piezas que lo integran del objeto montado y acabado. El término está aplicado a menudo a moldes cuyas piezas de clientes diferentes son agrupadas juntas en un molde para la economía de producción. Algunas veces se refiere al molde como combinación.)

Noyo: el noyo está compuesto por un conglomerado especial, de tierra de moldeo, resina y aceite de linaza, que se deshace y elimina con la pieza fundida, apenas esta se ha solidificado. Se coloca en piezas moldeadas para obtener huecos en la pieza, que se apoyan en portadas o bien se fijan en el mismo molde. Si los noyos son de forma cilíndrica se fabrican con tornos muy sencillos o utiliza el interior de un caño liso; si su forma es isométrica, se utilizan dos piezas de maderas en las cuales se moldea la forma determinada y así conforman la base y la tapa.

Perno recuperador: su función es la de asegurar que la placa de expulsores se regrese hacia atrás durante el cierre del molde. Esto asegura que los pernos expulsores no peguen en las cavidades. Cuando el sistema de expulsión es hidráulico se debe acoplar el sistema de expulsión al botador de la máquina.



Pistón: la parte de una prensa de inyección o compresión que se aplica la presión en el material plástico no fundido para empujarlo en la cámara, que a su vez fuerza la fundición del plástico al frente de la cámara fuera de la boquilla.

Placa portacavidad: es la que lleva la cavidad o cavidades. También aloja el perno guía. Normalmente es de acero tratado.

Placa portacorazón: es la que lleva los corazones o machos. También el buje. Normalmente es de acero tratado.

Placa portamolde: las placas superiores e inferiores de una prensa en que las mitades del molde están unidas con pernos. (Las placas de fijación de una prensa para moldeo por inyección o compresión, en que el montaje entero está unido con pernos.)

Plasticidad: el grado en el que el material fluye bajo el calor y presión. (Una propiedad de plástico que permite que el material sea deformado continuamente y permanente sin ruptura en la aplicación de una fuerza que excede el valor de productividad del material.)

Polimerización: la reacción química que ocurre al moldear durante “curación.” (Una reacción química en que las moléculas se juntan para formar moléculas grandes cuyo peso molecular es multiplicado de la sustancia original. Cuando dos o más monómeros están involucrados, el proceso se refiere al copolimerización o heteropolimerización.)

Preforma: un bloque de material comprimido. ((1) Una pastilla comprimida o galleta de compuesto plástico usado para eficacia en manejar y la exactitud en pesar los materiales.) (2) Para hacer el polvo de moldeo plástico a gránulos o pastillas.)

Purificación: se refiere a la limpieza de un color o tipo de material del cilindro de una máquina de moldeo por inyección extrayéndolo para ingresar un color nuevo o un material para ser usado en producción subsiguiente.

Rebaba: el material excesivo que fluye fuera de la cavidad del molde bajo la presión. (El plástico extra adjuntado a un molde por la línea de separación; bajo la mayoría de condiciones sería desagradable y tiene que ser eliminada antes de considerar las piezas aceptables.)

Respiración: la abertura y el cierre del molde para permitir que los gases puedan escapar durante el ciclo de moldeo.

Zamak: es el nombre comercial con el que se conoce a la aleación compuesta principalmente por zinc y aluminio y con menores cantidades de magnesio y cobre. Esta aleación no ferrosa fue creada en la década de 1920 por la empresa norteamericana New Jersey Zinc Company, que le dio su nombre como un acrónimo alemán de los materiales que la componen (Zink, Aluminium, Magnesium, Kupfer).



INTRODUCCIÓN

De acuerdo con los avances tecnológicos que se han logrado con el paso del tiempo y al analizar los procesos de extracción de materiales, así como el conformado de los mismos, se ha tenido la necesidad de sustituir a los materiales metálicos por otros que proporcionen las mismas características, propiedades y funcionalidad, trayendo como consecuencia materiales poliméricos, que en conjunto con los procesos de fabricación mecánica dan como resultado productos similares a los metálicos y con menor tiempo de fabricación, bajo costo y de alta producción. Esto trae como consecuencia que para el desarrollo de esta tesis, la cual consta de 4 capítulos, se considere a los materiales poliméricos para la fabricación del producto.

En este trabajo se ha elegido el moldeo por inyección, para ello se procederá al diseño de la pieza y la fabricación de la misma con el material seleccionado.

La inyección es el proceso por el cual un material, previamente plastificado a la temperatura de transformación, se introduce en el interior de un molde cerrado, a alta velocidad y presión (controladas), donde se enfría adquiriendo la forma del mismo.

Considerando lo anterior, los temas comprendidos son:

En el capítulo uno se abordan las técnicas de proceso utilizadas en la fabricación de artículos plásticos y se explican los antecedentes de la máquina de inyección, funcionamiento, así como, sus componentes y especificaciones generales.

En el capítulo dos se detalla la metodología para el diseño y construcción de moldes de inyección, describiendo los componentes de los tipos de moldes existentes.

En el capítulo tres se muestra la clasificación de los tipos de aceros para la fabricación de moldes de inyección, así como los tratamientos termoquímicos que se les pueden aplicar para mejorar sus propiedades físico-mecánicas.

En el capítulo cuatro se explican las propiedades y características físicas, químicas y mecánicas de los materiales plásticos; así como sus defectos y sus posibles soluciones en el proceso de inyección.



OBJETIVO

Presentar la fabricación de piezas poliméricas con ejemplo práctico de una pieza inyectada a partir de un molde existente, para reducir los costos de producción y mano de obra; así como aportar elementos a la industria de la transformación del plástico, que faciliten la manufactura de artículos poliméricos.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad existen diferentes formas para fabricar productos de plástico, ya sea por extrusión, insuflación de aire comprimido, inyección, conformado por vacío, etcétera. La decisión de seleccionar un método u otro se basa en las dimensiones y complejidad de la pieza (producto) y el material con el que se desea fabricar o en las propiedades finales del producto. Por lo tanto, el método de fabricación que se deberá utilizar estará definido por la pieza.

La realidad de las empresas nacionales que se dedican a la producción de piezas de plástico por inyección, es que gran parte de los moldes los obtienen de países con un mayor desarrollo tecnológico.

Por lo anterior, es notorio que la situación de la industria nacional del plástico revela la urgente necesidad del desarrollo de capacidades tecnológicas propias para los fabricantes de moldes, maquiladores, transformadores para el mercado interno y usuarios integrados, que les permita competir con ventaja en un mundo globalizado.

La necesidad de fabricar piezas de plástico de mediana producción ha ocasionado el desarrollo de la presente tesis.



CAPÍTULO I.

FUNDAMENTOS



1.1 HISTORIA DEL PLÁSTICO

El desarrollo de estas sustancias se inició en 1860, cuando el fabricante estadounidense de bolas de billar Phelan and Collander ofreció una recompensa de 10 000 dólares a quien consiguiera un sustituto aceptable del marfil natural. Una de las personas que optaron al premio fue el inventor estadounidense Wesley Hyatt, quien desarrolló un método de procesamiento a presión de la piroxilina, un nitrato de celulosa de baja nitración tratado previamente con alcanfor y una cantidad mínima de disolvente de alcohol. Si bien Hyatt no ganó el premio, su producto, patentado con el nombre de celuloide, se utilizó para fabricar diferentes objetos, desde placas dentales a cuellos de camisa. El celuloide tuvo un notable éxito comercial a pesar de ser inflamable y de su deterioro al exponerlo a la luz.

Durante las décadas siguientes aparecieron de forma gradual más tipos de plásticos. Se inventaron los primeros plásticos totalmente sintéticos: un grupo de resinas desarrollado hacia 1906 por el químico estadounidense de origen belga Leo Hendrik Bäckeland, y comercializado con el nombre de baquelita. Entre los productos desarrollados durante este periodo están los polímeros naturales alterados, como el rayón, fabricado a partir de productos de celulosa.

El avance de la química de los plásticos

En 1920 se produjo un acontecimiento que marcaría la pauta en el desarrollo de materiales plásticos. El químico alemán Hermann Staudinger aventuró que éstos se componían en realidad de moléculas gigantes. Los esfuerzos dedicados a probar esta afirmación iniciaron numerosas investigaciones científicas que produjeron enormes avances en esta parte de la química. En las décadas de 1920 y 1930 apareció un buen número de nuevos productos, como el etanoato de celulosa (llamado originalmente acetato de celulosa), utilizado en el moldeo de resinas y fibras; el cloruro de polivinilo (PVC), empleado en tuberías y recubrimientos de vinilo, y la resina acrílica, desarrollada como un pegamento para vidrio laminado. Uno de los plásticos más populares desarrollados durante este periodo es el metacrilato de metilo polimerizado, que se comercializó en Gran Bretaña con el nombre de Perspex y como Lucite en Estados Unidos, y que se conoce en español como plexiglás. Este material tiene unas propiedades ópticas excelentes; puede utilizarse para gafas y lentes, o en el alumbrado público o publicitario. Las resinas de poliestireno, comercializadas alrededor de 1937, se caracterizan por su alta resistencia a la alteración química y mecánica a bajas temperaturas y por su muy limitada absorción de agua. Estas propiedades hacen del poliestireno un material adecuado para aislamientos y accesorios utilizados a bajas temperaturas, como en instalaciones de refrigeración y en aeronaves destinadas a los vuelos a gran altura. El PTFE (politetrafluoroetileno), sintetizado por primera vez en 1938, se comercializó con el nombre de teflón en 1950. Otro descubrimiento fundamental en la década de 1930 fue la síntesis del nylon, el primer plástico de ingeniería de alto rendimiento.

La segunda guerra mundial

Durante la Segunda Guerra Mundial, tanto los aliados como las fuerzas del Eje sufrieron reducciones en sus suministros de materias primas. La industria de los plásticos demostró ser una fuente inagotable de sustitutos aceptables. Alemania, por



ejemplo, que perdió sus fuentes naturales de látex, inició un gran programa que llevó al desarrollo de un caucho sintético utilizable. La entrada de Japón en el conflicto mundial cortó los suministros de caucho natural, seda y muchos metales asiáticos a Estados Unidos. La respuesta estadounidense fue la intensificación del desarrollo y la producción de plásticos. El nylon se convirtió en una de las fuentes principales de fibras textiles, los poliésteres se utilizaron en la fabricación de blindajes y otros materiales bélicos, y se produjeron en grandes cantidades varios tipos de caucho sintético (figura 1.1).

Figura 1.1 Fábrica alemana de caucho sintético.



Fuente: <http://www.eis.uva.es/>

El auge de la posguerra

Durante los años de la posguerra se mantuvo el elevado ritmo de los descubrimientos y desarrollos de la industria de los plásticos. Tuvieron especial interés los avances en plásticos técnicos, como los policarbonatos, los acetatos y las poliamidas. Se utilizaron otros materiales sintéticos en lugar de los metales en componentes para maquinaria, cascos de seguridad, aparatos sometidos a altas temperaturas y muchos otros productos empleados en lugares con condiciones ambientales extremas. En 1953, el químico alemán Karl Ziegler desarrolló el polietileno, y en 1954 el italiano Giulio Natta desarrolló el polipropileno, que son los dos plásticos más utilizados en la actualidad. En 1963, estos dos científicos compartieron el Premio Nobel de Química por sus estudios acerca de los polímeros.

Origen de los plásticos en México

Dentro de la petroquímica, la industria de resinas sintéticas es la que presenta una mayor relevancia, la producción nacional para plásticos se remonta escasamente a 57 años la cual se ha caracterizado por su dinamismo en los últimos años, además la cadena productiva ha impactado todos los sectores de la economía nacional, es decir nos encontramos ante una industria joven que ha evolucionado en forma acelerada y normalmente a índices superiores al mostrado por el Producto Interno Bruto Nacional (PIB) y al manufacturero.



A principios de la década de los 40's, comenzó la comercialización de los plásticos y el conocimiento del desarrollo a nivel industrial que ha tenido este sector y la flexibilidad de sus productos les ha permitido aplicarse en mercados que antes eran cautivos de materiales como, el hierro, cobre y acero. Desde 1960 la infraestructura y capacidad de las regiones económicamente poderosas, hicieron aumentar el sector, originando el crecimiento dinámico de resinas termoplásticas, la demanda interna de resinas sintéticas mostró una caída significativa durante 1982-1984 del orden del 12 % en términos globales. En 1986 y 1987 presentó una moderada recuperación, y en 1985, 1988 y 1989 un importante crecimiento del 4.5 %.

Las bondades del Poliestireno (PS) lo ubican como uno de los plásticos más utilizados en todo el mundo, en 1945 el primer plástico que se comercializó en México fue el PS, y en 1957 se importaron las primeras máquinas inyectoras, con la ventaja de obtener de forma industrial artículos iguales y en mayor número para cubrir las demandas del mercado, pero fue hasta 1962 cuando se inició la producción nacional principalmente en la elaboración de productos de embalaje, carcasas de electrodomésticos, cassettes, envases térmicos.

En México se comercializa el PVC desde 1947. De 1953 a 1955 se instalaron las primeras plantas productoras de esta resina en el país, sin embargo, el mayor desarrollo tecnológico y la comercialización a nivel internacional se dio con el comienzo de la década de los ochentas. Hasta 1987 el PVC mantuvo el liderazgo en cuanto a la resina de mayor producción. El campo de aplicación principalmente era en tuberías.

La comercialización de los polietilenos comenzó a partir de 1934 y la producción nacional fue en 1946, los grandes aumentos en 1961 y 1963 se debieron a rebajas en los precios de origen. En 1988 el polietileno ocupó el primer lugar en la producción nacional. Su participación principal es en el mercado de envase y embalaje se aplica en película encogible y estirable, empaque de alimentos y recubrimiento de latas, tubería a presión, bolsas grandes y películas.

El polipropileno junto con el polietileno son las dos olefinas o parafinas más importantes, tanto para su consumo como por sus propiedades y aplicaciones. Fue descubierto en 1950 y comercializado en 1957, ocupando de acuerdo a su consumo el cuarto a nivel nacional considerando al polietileno de alta y baja como un solo polímero. El mayor uso de este material se utilizaba en el sector de rafia para la elaboración de costales para azúcar, granos y otros productos alimenticios, en películas para botanas, chocolates, dulces, productos secos, carnes frías. Debido a la gran demanda de éste, la construcción de la primera planta fue en 1989 y en 1992 se dio la comercialización formal en México.

Desde que fue patentado en 1941 como un polímero para fibras, el PET ha presentado un continuo desarrollo tecnológico. Su diversificación lo ha llevado a obtener un espectacular crecimiento a rango mundial, especialmente por sus grandes beneficios como empaque. En México se empezó a utilizar para este fin a mediados de la década de los ochenta. Mientras que en 1989 se consumían en el país 11 mil toneladas, la comercialización de éste hasta la fecha, es de casi 500 mil



1.3 PROCESOS DE FABRICACIÓN DEL PLÁSTICO Y MÁQUINAS UTILIZADAS

La fabricación de los plásticos y su manufactura implica cuatro pasos básicos que son: la obtención de la materia prima, la síntesis del polímero básico, la composición del polímero como un producto utilizable industrialmente y el moldeo o deformación del plástico en su forma definitiva.

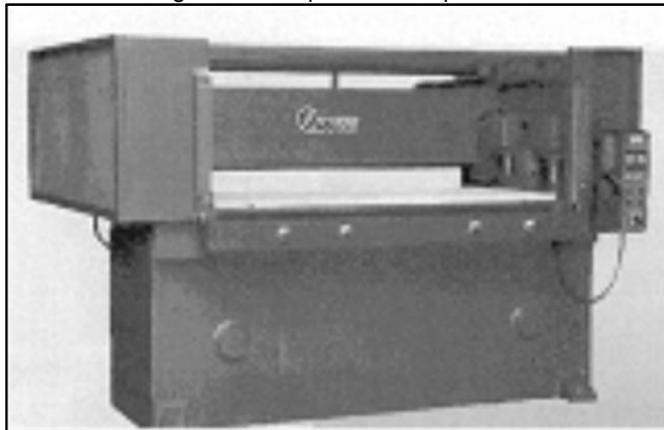
El moldeo del plástico consiste en dar la forma y medida deseada a un plástico por medio de un molde. El molde es una pieza hueca en la que se vierte el plástico fundido para que adquiera su forma. Para ello los plásticos se introducen a presión en los moldes. En función del tipo de presión, se tienen: moldeo a alta presión y moldeo a baja presión.

El moldeo a alta presión, se realiza mediante máquinas hidráulicas que ejercen la presión suficiente para el moldeo de las piezas. Básicamente existen tres tipos:

- Compresión.
- Inyección.
- Extrusión.

Compresión: En este proceso, el plástico en polvo es calentado y comprimido entre las dos partes de un molde mediante la acción de una prensa hidráulica, ya que la presión requerida en este proceso es muy grande (ver figura 1.3).

Figura 1.3 Máquina de compresión.



Fuente: <http://3.bp.blogspot.com/>

Inyección: Consiste en introducir el plástico granulado dentro de un cilindro, donde se calienta. En el interior del cilindro hay un tornillo sinfín que cuando el plástico se reblandece lo suficiente, lo inyecta a alta presión en el interior de un molde de acero para darle forma. El molde y el plástico inyectado se enfrían mediante unos canales interiores por los que circula agua. Por su economía y rapidez, el moldeo por inyección resulta muy indicado para la producción de grandes series de piezas. El equipo utilizado es una máquina de inyección, figura 1.4.

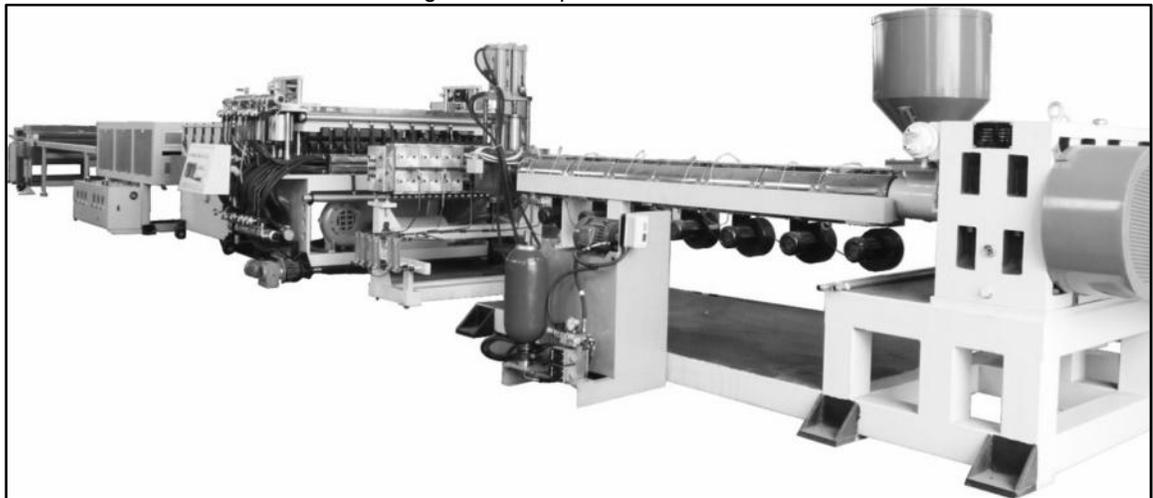


Figura 1.4 Máquinas de inyección horizontal y vertical.

Fuente: <http://3.bp.blogspot.com/>

Extrusión: Consiste en moldear productos de manera continua, ya que el material es empujado por un tornillo sinfín a través de un cilindro que acaba en una boquilla, la que produce una tira de longitud indefinida. Cambiando la forma de la boquilla se pueden obtener barras de distintos perfiles. También se emplea este procedimiento para la fabricación de tuberías, inyectando aire a presión a través de un orificio en la punta del cabezal. El equipo utilizado es una máquina de extrusión, ver figura 1.5.

Figura 1.5 Máquina de extrusión.

Fuente: <http://3.bp.blogspot.com/>

Moldeo a baja presión: El moldeo a baja presión, se emplea para dar forma a láminas de plástico mediante la aplicación de calor y presión hasta adaptarlas a un molde. Se emplean, básicamente, dos procedimientos: El primero consiste en efectuar el vacío absorbiendo el aire que hay entre la lámina y el molde, de manera que ésta se adapte a la forma del molde. El equipo utilizado es una máquina de termoformado al vacío.

El segundo procedimiento consiste en aplicar aire a presión contra la lámina de plástico hasta adaptarla al molde. Este procedimiento se denomina moldeo por soplado.



Colada: La colada consiste en el vertido del material plástico en estado líquido dentro de un molde, donde fragua y se solidifica. La colada es útil para fabricar pocas piezas o cuando se emplean moldes de materiales baratos de poca duración, como escayola o madera. Debido a su lentitud, este procedimiento no resulta útil para la fabricación de grandes series de piezas.

Espumado: Consiste en introducir aire u otro gas en el interior de la masa de plástico de manera que se formen burbujas permanentes. Por este procedimiento se obtiene la espuma de poliestireno, la espuma de poliuretano (PUR), entre otras.

Calandrado: Consiste en hacer pasar el material plástico a través de unos rodillos que producen mediante presión, láminas de plástico flexibles de diferente espesor. El equipo utilizado es una máquina de rotomoldeo.

1.4 LA MÁQUINA DE INYECCIÓN

La máquina de inyección, tiene la función de introducir a presión el plástico en un molde en el que se encuentra impresa la forma de la pieza final.

1.4.1 Tipos de máquinas de inyección

La gran diversidad y complejidad de los productos obtenidos a partir del método de moldeo por inyección exige, que exista una diversidad de máquinas de inyección que faciliten los requisitos exigidos en procesos de producción, entre las que destacan:

- 1) Con sistema de preplastificación.
- 2) Para moldeo descentrado.
- 3) Giratoria.
- 4) De inyección de multicomponentes.
- 5) De coinyección (proceso sandwich).
- 6) De inyección de pintura en el molde.
- 7) De inyección para espumas rígidas.
- 8) De inyección asistida por gas.
- 9) De moldeo por inyección reactiva.
- 10) De inyección con fundido pulsante.

Además de los distintos tipos de máquinas, existen también distintos arreglos en las unidades de inyección, como lo son:

- 1) Inyección y cierre horizontales (posición normal).
- 2) Cierre horizontal con inyección vertical.
- 3) Cierre e inyección verticales.
- 4) Cierre vertical e inyección horizontal.

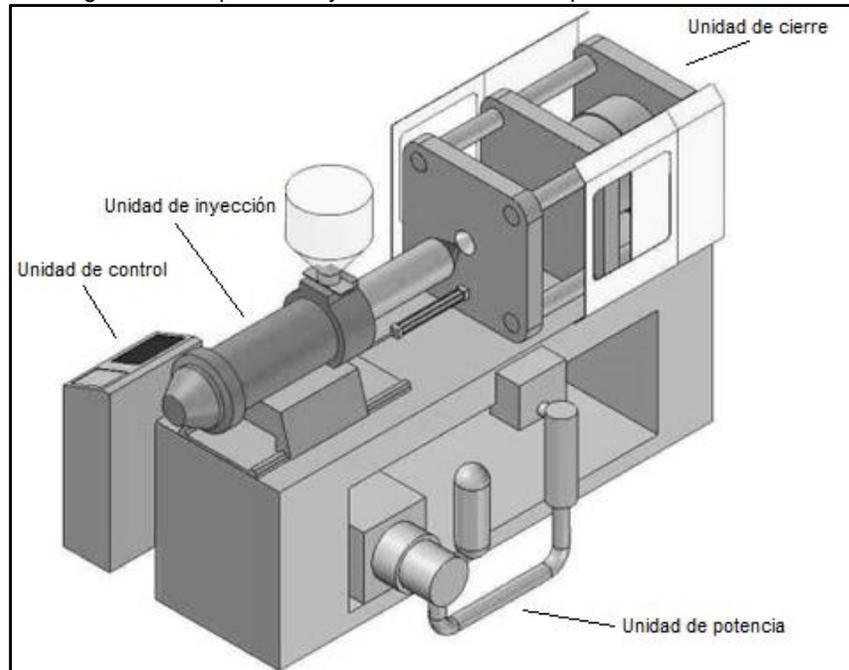


1.4.2 Estructura de la máquina de inyección

En una máquina de inyección (mirar la figura 1.6) pueden identificarse diferentes partes fundamentales, las cuales normalmente se agrupan dentro de las siguientes unidades:

- 1) Unidad de cierre.
- 2) Unidad de inyección.
- 3) Unidad de potencia.
- 4) Unidad de control.

Figura 1.6 Máquina de inyección señalando las partes fundamentales.



Fuente: <http://identidad.campusqueretaro.net/>

1. **Unidad de cierre:** también es conocida como unidad de cierre del molde y es el componente de la máquina que sostiene el molde, efectúa el cierre y la apertura, genera la fuerza para mantenerlo cerrado durante la fase de inyección y cuando el molde se abre, expulsa la pieza moldeada. La unidad de cierre es una prensa que aplica una presión para efectuar la compactación del material en el molde.

En la actualidad, se han creado muchos sistemas de cierre, pero los más conocidos y utilizados son: cierre por rodillera (simple o doble), cierre por pistón (también conocido como cierre directo) y cierre hidromecánico o de pistón bloqueado. Los tipos de prensas existentes son:

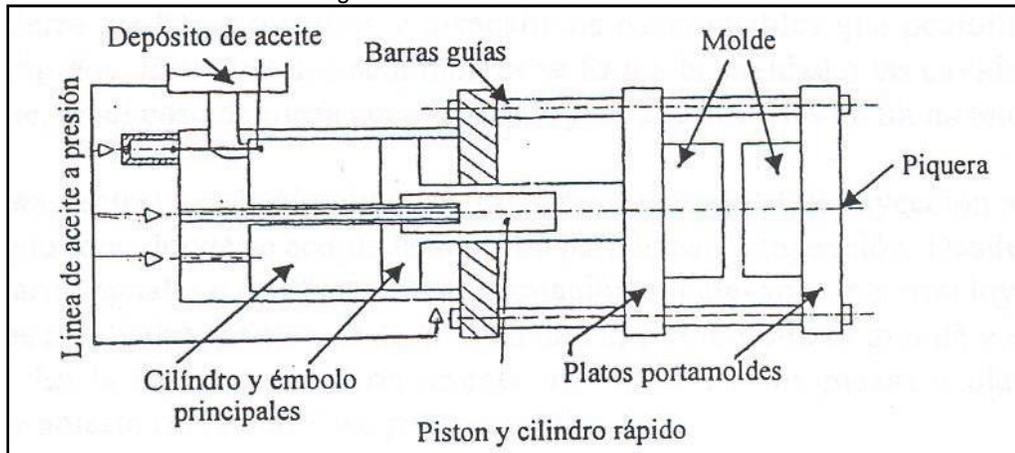
- a) Hidráulicas (observar figura 1.7).
- b) Mecánicas e hidromecánicas (figura 1.8). Las mecánicas puras son apenas utilizadas.

Las características más importantes son:



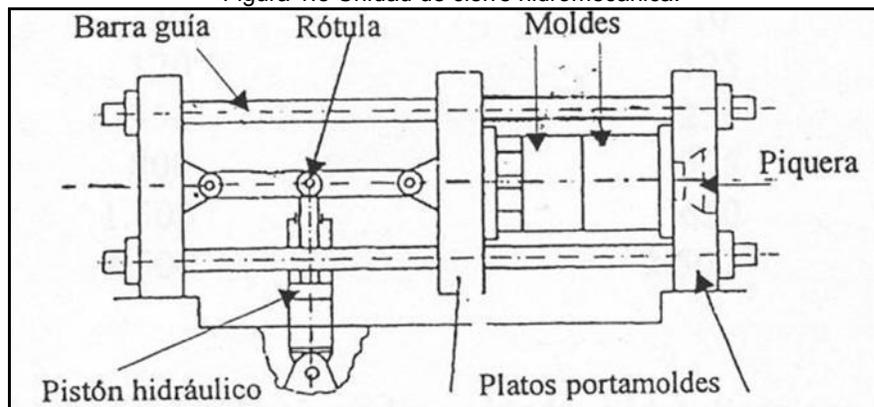
- 1.- Las dimensiones máximas de los moldes
- 2.- La fuerza de cierre (hasta 1000 toneladas en hidráulicas y superior en hidromecánicas).

Figura 1.7 Unidad de cierre hidráulica.



Fuente: Conalep, 2010

Figura 1.8 Unidad de cierre hidromecánica.



Fuente: Conalep, 2010

Función de la unidad de cierre

La función principal de la unidad de cierre (mirar figura 1.9) es la de abrir y cerrar el molde. También su función es la de mantenerlo cerrado durante la inyección. Para lograr el cierre se deben combinar rapidez y tonelaje. Hace 20 años las máquinas que iban a la delantera eran la del tipo hidráulico. Ahora con la incorporación de sensores y el consumo de energía están ganando las máquinas del tipo rodillera.

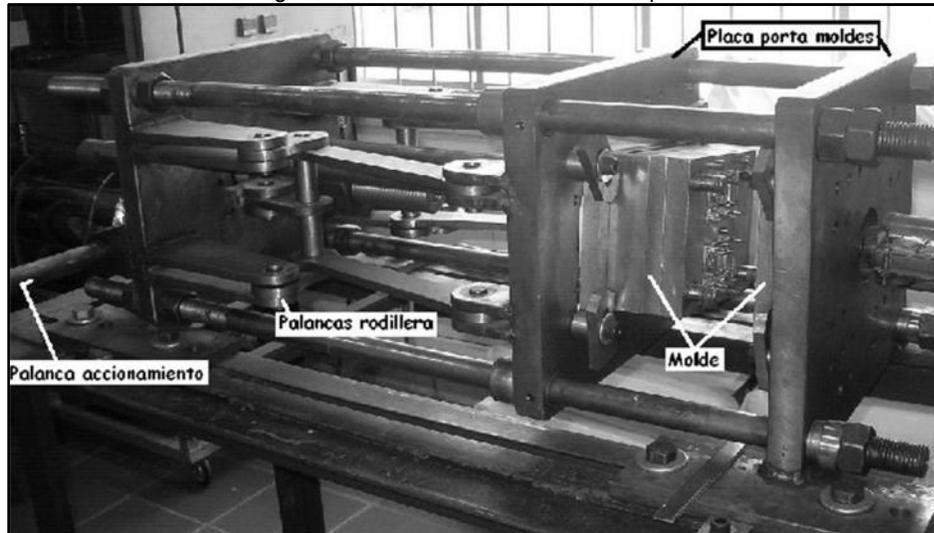
Así pues, existen dos tipos de cierre más conocidos y son: el de rodillera y el de tipo hidráulico. Aunque el de la rodillera se mueve con un pequeño cilindro hidráulico, se le considera cierre tipo mecánico de rodillera.

Componentes de la unidad de cierre

Desde las máquinas más antiguas se implementó el seguro de molde. La función del seguro de molde es no permitir la aplicación de todo el tonelaje de la máquina sobre el molde si algún objeto extraño se interpone en el cierre del molde.



Figura 1.9 Unidad de cierre de la máquina.



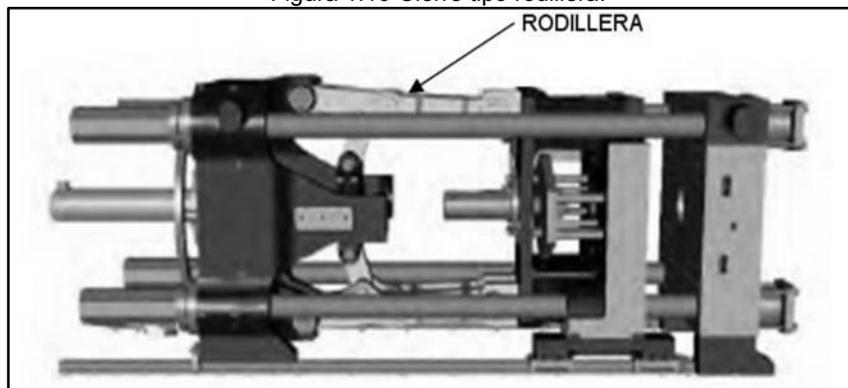
Transmisión de movimiento

El motor hidráulico es el que mueve el husillo durante la recarga de material. La velocidad se mide en revoluciones por minuto (RPM). Éste sólo gira para cargar y no al momento de la inyección. El motor hidráulico al hacer girar al husillo, aporta mucho calor al plástico por fricción.

Cierre de rodilleras

El tipo de cierre por rodillera es muy simple (figura 1.10). Las palancas logran desplazamientos del molde muy rápidos y proporcionan un estiramiento de las columnas, logrando de esta manera el tonelaje de cierre deseado. Midiendo el alargamiento de las columnas (entre 50 y 70 milésimas de pulgada) se puede calcular con precisión el tonelaje aplicado al molde. Resulta muy arriesgado el retirar una columna para introducir un molde de gran dimensión. Sólo personal calificado debe hacer este movimiento, por lo que, se sugiere evitar al máximo mover las columnas a fin de evitar daños en el molde y en las columnas. Existe un alto riesgo de romper una columna y perder el paralelismo con la consecuencia de rebaba en el producto final.

Figura 1.10 Cierre tipo rodillera.



Fuente: <http://oycmaquinasinyeccionesji.blogspot.mx/>



Cierre hidráulico

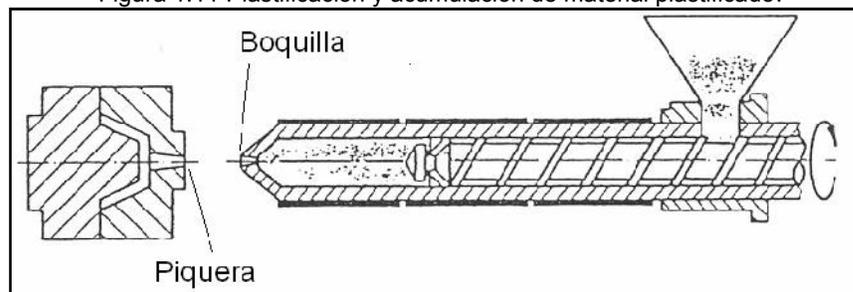
El tipo hidráulico tiene la bondad de que la fuerza de cierre puede leerse directamente del manómetro. Su velocidad al ser muy alta requiere de mayor consumo de energía. Esto las está colocando en desventaja en un mundo competido y de ahorro de recursos. Existen otras combinaciones de cierre, pero las aquí presentadas son las más comunes. Es importante recordar que cualquier sistema debe proteger al molde. Éstos deben cerrar con baja presión a fin de no dañar el molde. Se recomienda realizar la prueba de la colada; ésta debe ser aplastada pero sin deformarla. Si no aplasta la colada no se dañará el molde.

2. **Unidad de inyección:** la unidad de inyección es la parte de la máquina que efectúa la alimentación, la plastificación y la inyección al molde del material plástico, el cual entra en esta unidad de inyección en forma de pellet o grano. La unidad de inyección plastifica el material mediante un husillo (similar a extrusoras monohusillo). Los tipos existentes de unidades son:

- a) Husillo alternativo (Reciprocating Screw Injection Unit [RSIU]):

- I. Plastificación y acumulación de material plastificado mediante giro y retroceso del husillo:

Figura 1.11 Plastificación y acumulación de material plastificado.

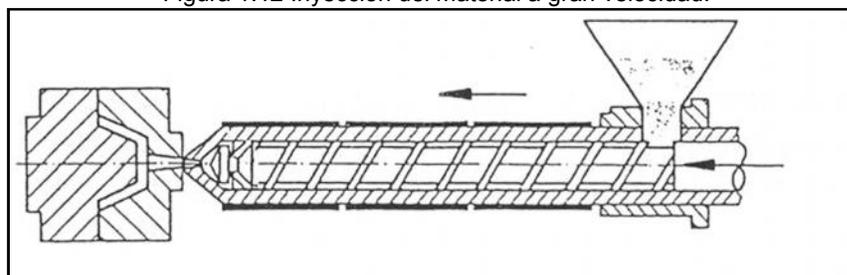


Fuente: Conalep, 2010

- II. Inyección a gran velocidad (tiro o disparo). La válvula antirretorno impide el retroceso del material.

Regulación del movimiento por velocidad de inyección y presión máxima admisible en el molde (hasta 200 MPa).

Figura 1.12 Inyección del material a gran velocidad.

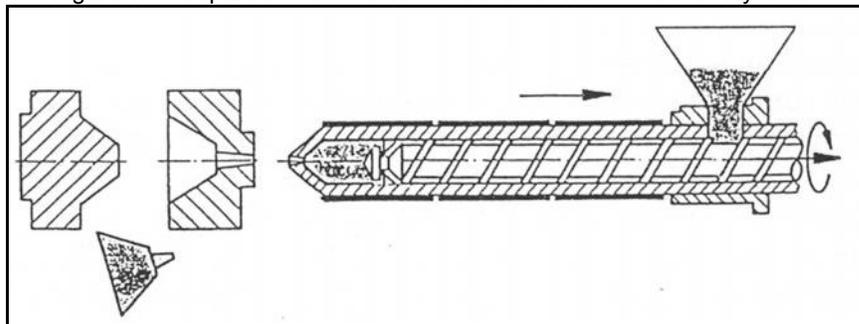


Fuente: Conalep, 2010



- III. Se mantiene la presión en el molde, inyectando más material durante el inicio de cristalización y contracción (figura 1.12).
- IV. Separación del molde, y comienzo de nuevo ciclo de plastificación mientras la pieza termina el enfriamiento en el molde (figura 1.13).

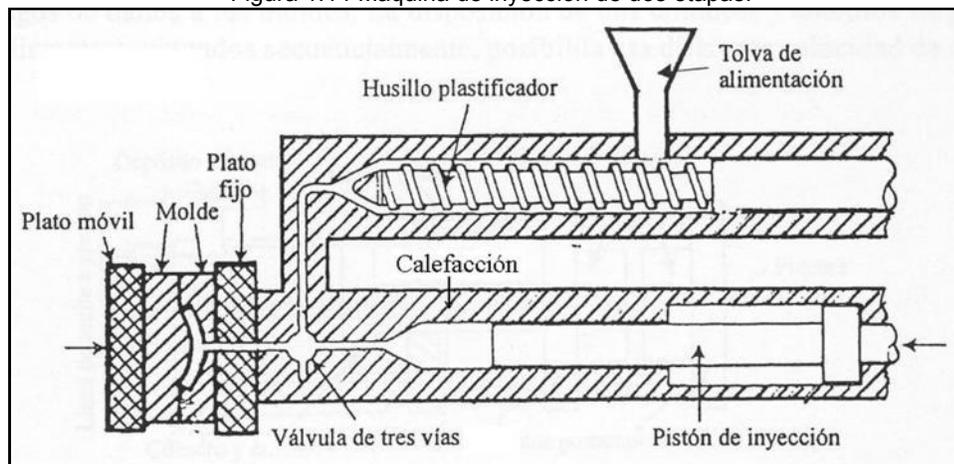
Figura 1.13 Separación del molde e inicio de un nuevo ciclo de inyección.



Fuente: Conalep, 2010

b) Unidades de dos etapas:

Figura 1.14 Máquina de inyección de dos etapas.



Fuente: Conalep, 2010

- Ventajas:
 - ⊕ Mayor capacidad de producción.
 - ⊕ Mayores presiones alcanzadas.
 - ⊕ Control más preciso del volumen inyectado.
 - ⊕ Son preferidas para piezas complicadas de paredes finas.
- Desventajas:
 - ⊕ Mayor costo.
 - ⊕ Menor homogeneidad del material.
 - ⊕ Mayor riesgo de degradación.



Características más importantes:

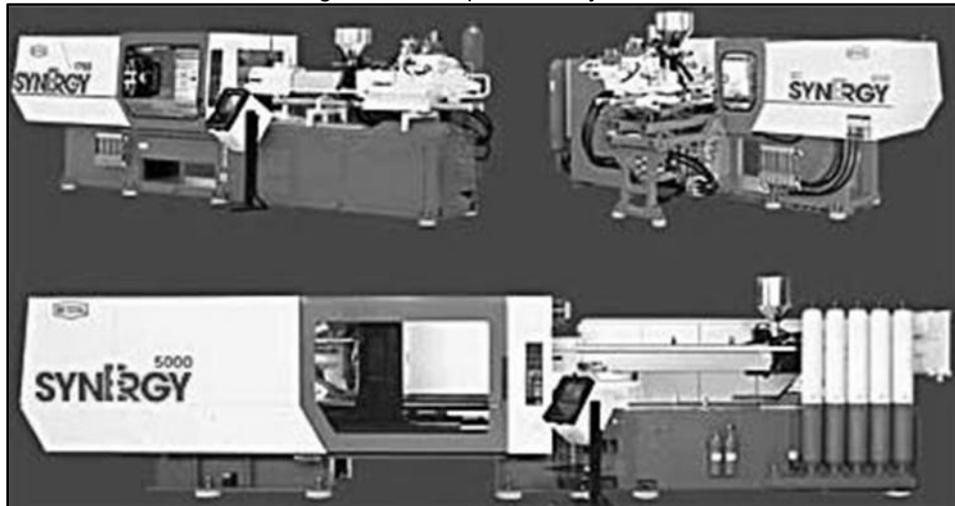
- ⊕ Volumen máximo de tiro (shot size).
- ⊕ Máxima presión.

3.- **Unidad de potencia:** Comprende el conjunto de dispositivos necesarios de la máquina para transformar y suministrar la fuerza motriz a la unidad de inyección y de cierre. Las máquinas emplean dos sistemas de potencia uno para el cierre del molde y otro para la inyección.

4.- **Unidad de control:** Es la parte necesaria de la máquina para que se realice el proceso de una forma predeterminada y pueda variarse.

El sistema de control está ligado íntimamente al de potencia, a través del cual las distintas señales se convierten en movimientos de las unidades de inyección y cierre.

Figura 1.15 Máquinas de inyección.



Fuente: <http://3.bp.blogspot.com/>

Guías

Representan el soporte en el cual se coloca la unidad de cierre de molde que es el componente de la máquina que sostiene el molde: efectúa cierre y apertura sobre las guías y soportes de la bancada, también sobre ésta va colocada la unidad de inyección que es la parte de la máquina que efectúa la alimentación, la plastificación y la inyección del material.

Instalación hidráulica

Dentro de la bancada se encuentra la instalación hidráulica, la cual funciona como una tina que almacena el aceite que sirve para proveer de lubricante, y a su vez, enfriamiento a la máquina, la cual es distribuida a través de un motor hidráulico y juegos de mangueras y válvulas que distribuyen el aceite.

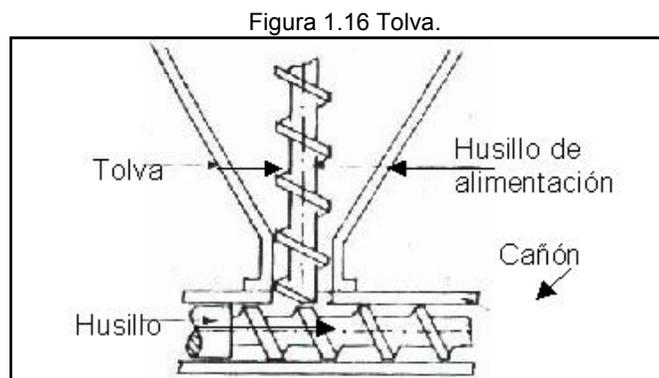


Sistema de alimentación

El sistema de alimentación se compone de una tolva que es depósito de materia prima en donde se colocan los pellets de material plástico para la alimentación continua del extrusor.

Debe tener dimensiones adecuadas para ser completamente funcional; los diseños mal planeados, principalmente en los ángulos de bajada de material, pueden provocar estancamientos de material y paros en la producción.

En materiales que se compactan fácilmente, una tolva con sistema vibratorio puede resolver el problema, rompiendo los puentes de material formados y permitiendo la caída del material a la garganta de alimentación. La figura 1.16 muestra un esquema de una tolva.



Fuente: <http://www.eis.uva.es/>

Si el material a procesar es problemático aun con la tolva en vibración, la tolva tipo Cramer es la única que puede forzar el material a fluir, empleando un tornillo para lograr la alimentación o llenado.

Las tolvas de secado son usadas para eliminar la humedad del material que está siendo procesado, sustituyen a equipos de secado independientes de la máquina.

Función

La función de esta parte de la máquina es proveer de materia al cañón para ser plastificado e inyectado a la máquina. En sistemas de alimentación con mayor grado de automatización, se cuentan con sistemas de transporte de material desde contenedores hasta la tolva, por medios neumáticos o mecánicos.

Otros equipos auxiliares son los dosificadores de aditivos a la tolva y los imanes o magnetos para la obstrucción del paso de materiales ferrosos, que pueden dañar el husillo y otras partes internas del extrusor.

Cañón o cilindro

En general, se puede decir que la unidad de inyección consta de un tornillo de Arquímedes que gira dentro de un barril o camisa con una distancia mínima entre la pared del barril y el hilo del tornillo. El barril tiene calentadores de cincho que lo rodean. La profundidad del canal del tornillo disminuye desde el extremo de



alimentación hacia el extremo de salida para favorecer la compresión del contenedor. Los gránulos de polímero frío se cargan en el extremo de alimentación y el polímero fundido sale por el extremo de salida. El calentamiento se debe en parte a los calentadores del barril y en parte a lo largo del tornillo.

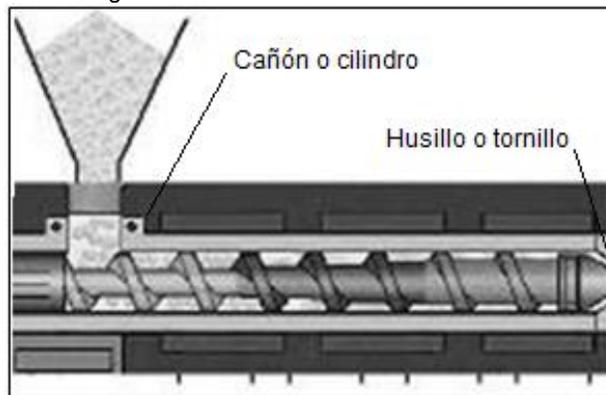
Función

El cañón o barril lleva en su interior al husillo. En el exterior se instalan las resistencias y los termopares; estos últimos miden la temperatura del cañón. Para medir la temperatura de la masa es necesario purgar la máquina y medir su temperatura directamente del material escurrido.

Estructura

El cañón o barril (figura 1.17) brinda la superficie de apoyo para que el material se desplace hacia adelante. También se le incorpora el sistema de calefacción y termopares que aportan y regulan la temperatura necesaria para el arranque.

Figura 1.17 Estructura del cañón o cilindro.



Fuente: <http://www.geocities.ws/>

Tipos de recubrimiento

Existen tres tipos de recubrimientos para trabajar los plásticos:

- 1) Recubrimiento al desgaste (fibra de vidrio).
- 2) Recubrimiento para la oxidación (PVC).
- 3) Recubrimiento para usos generales.

Soportes

Los soportes son los que mantienen el cañón sobre la bancada fijándola e inmovilizándola para que éste tenga un buen funcionamiento y alineación con el punto de eyección.

Husillo

Las funciones del husillo y el cilindro son las de la unidad de inyección, pues son ellos quienes las realizan. El cambio de materiales y colores es muy usual en el moldeo por inyección, por eso se utiliza prácticamente un solo tipo de husillo, el de tres zonas como su nombre lo indica, distinguibles entre sí porque la cámara del husillo disminuye de tamaño y comprime con mayor fuerza al material.

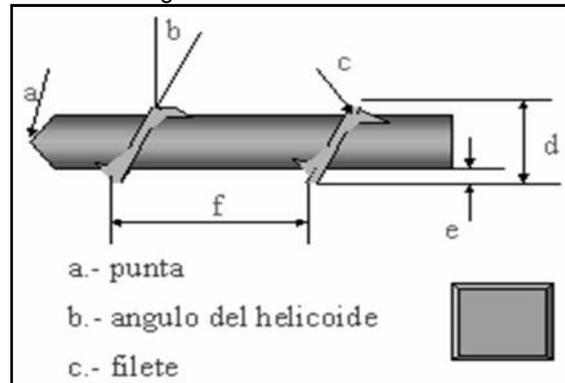


Función y material

El husillo tiene dos usos y tres funciones.

1. Hacia adelante: trabaja como el émbolo de una jeringa. Llena y compacta el plástico en la cavidad.
2. Hacia atrás: transporta el plástico hacia adelante, lo compacta para quitarle el aire y, por último, lo homogeniza, o si usa pigmento, dispersa uniformemente el color.

Figura 1.18 Partes del husillo.

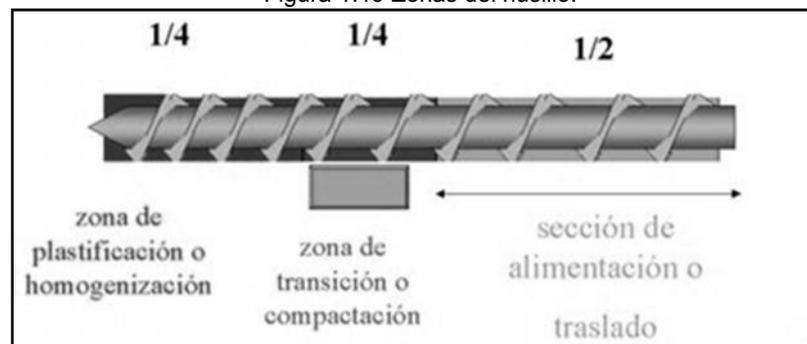


Fuente: <http://www.geocities.ws/>

Zonas del husillo

Al husillo se le divide en tres zonas: traslado, compactación y homogenización (contemplar figura 1.19). Es conveniente decir que el husillo traslada el material de la tolva a la cámara de dosificación y en ese traslado lo compacta con el fin de quitar gases. Al mismo tiempo y sobre todo en la zona más estrecha, lo homogeniza en temperatura y si hay pigmento, éste se dispersa.

Figura 1.19 Zonas del husillo.



Fuente: <http://www.geocities.ws/>

Otros conceptos importantes del husillo son la relación de compresión (R/C) y la relación longitud diámetro (L/D) (ver figuras 1.20 y 1.21). Los mejores husillos son aquellos que tienen: $R/C = 3:1$ o mayor y $L/D = 20:1$ o mayor. Se usan con menores relaciones debido a la sensibilidad del material, por ejemplo, para el PET y el PVC se usan: $R/C = 2:1$ y una $L/D = 16:1$.



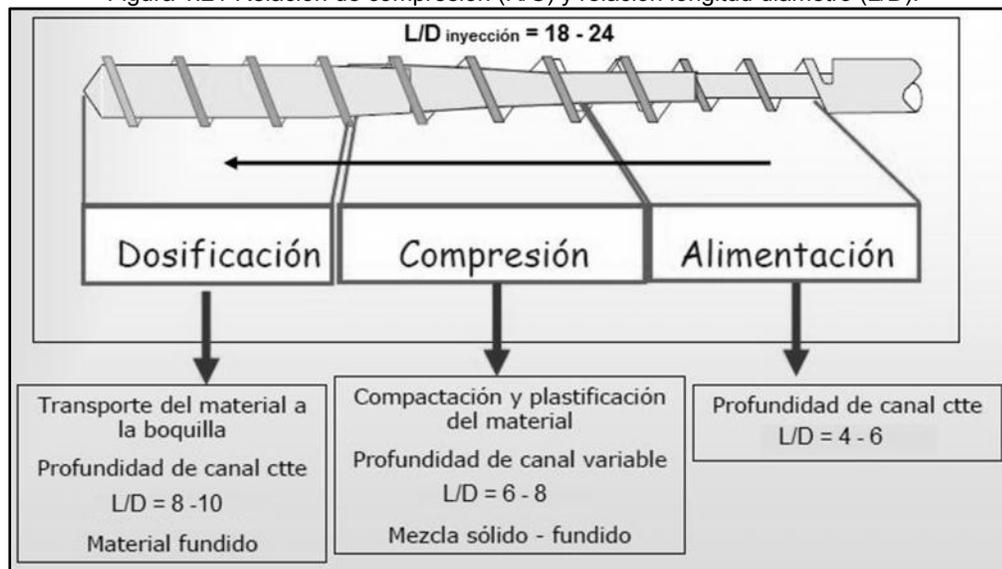
Figura 1.20 Relación entre husillos.



Fuente: <http://www.geocities.ws/>

Si el husillo tiene una relación L/D de 16:1, significa que la longitud es 16 veces mayor que el diámetro. Si el husillo es de diámetro 2", su longitud será de 32".

Figura 1.21 Relación de compresión (R/C) y relación longitud diámetro (L/D).



Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/>

De acuerdo a Charles A. Harper, es importante saber que un litro de agua en forma de cubos de hielo ocupa más volumen que un litro de agua en fase líquida. Esto mismo ocurre con el plástico en forma de gránulo. El pasar de un kilogramo de pellets a un kilogramo de masa plástica, ésta última ocupa menor volumen. Luego entonces, la relación de compresión en un husillo se da al comparar la profundidad del filete en la garganta con la profundidad del filete en la punta.

Una relación de compresión 1:1, significa que el husillo sólo transporta el material. Este husillo se usa para los polímeros termofijos. Una relación de compresión de 2:1 la usan materiales sensibles como el PET y el PVC. Para el polipropileno se puede usar una relación de compresión mayor de 3:1, dado que es el plástico que más soporta un trabajo excesivo sobre él.



La utilización de husillos de "usos generales" no debiese de existir, pero en la práctica el moldeador tiene que lidiar con este tipo de husillos.

Figura 1.22 Relación del husillo.



Fuente: <http://www.geocities.ws/>

Existen tres tipos de materiales plásticos que necesitan diferentes acabados superficiales en el husillo y el cañón:

- 1) Materiales que al descomponerse desprenden gases agresivos.
- 2) Materiales que contienen fibra de vidrio.
- 3) Materiales que no se descomponen ni usan fibra de vidrio.

Es importante saber qué recubrimiento tienen el husillo y el cañón. Ninguno es mejor que el otro, son para aplicaciones diferentes y el mezclar aplicaciones puede ser desastroso.

El tiempo de vida para un husillo que maneja polipropileno es de 20 años; pero, si se usa para PVC rígido se reducirá a 10 años. Si se usa para polipropileno cargado con fibra de vidrio se reducirá su vida a sólo tres meses.

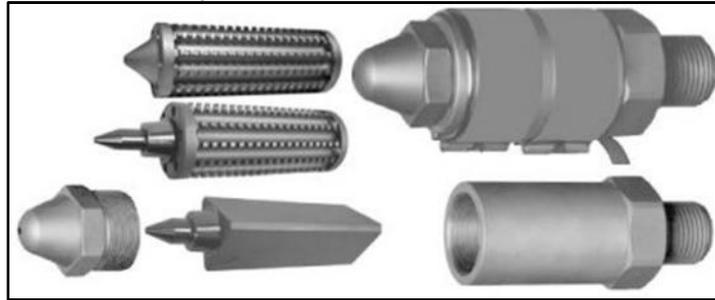
- Resistencia al desgaste (nitrurado).
- Resistencia a la oxidación (cromado).
- Sin protección.

Nariz o boquilla

Es la parte final del husillo donde el material ya calentado es dirigido hacia la boquilla para ser inyectado al molde. Este elemento es empleado para limitar las fugas del husillo. El cabezal está provisto para dirigir las fugas al paso del husillo y se mezclan con el material disgregado, para ser transportado de nuevo durante el giro del émbolo-husillo. Existen cabezales intercambiables (observar figura 1.23) provistos de filetes que permiten una prolongación de la función del extrusor hasta la boquilla, tales cabezales se utilizan frecuentemente para intrusión.



Figura 1.23 Cabezal intercambiable.

Fuente: <http://www.directindustry.es/>

Las funciones de la boquilla son:

- Unir el cilindro de plastificación con el molde y servir como pieza de ajuste entre ellos para evitar fugas de material durante la inyección.
- Reducir el canal por donde pasa el material, desde el diámetro del cilindro (generalmente entre 20 y 150 mm) hasta el diámetro de la entrada al molde (entre 3 y 5 mm).
- Transformar la presión a la cual está sometido el material del cilindro a velocidad, para evitar que el plástico solidifique en el camino a las cavidades del molde.

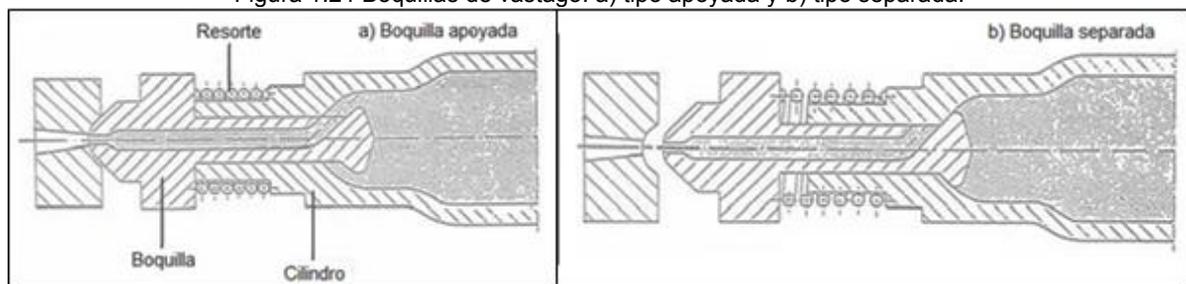
Las boquillas pueden ser abiertas o cerradas.

Las boquillas abiertas permiten el paso libre del material al no existir ninguna válvula en el camino a las cavidades del molde.

Las boquillas cerradas poseen una válvula, normalmente cerrada, entre el cilindro y el molde, que se abre durante la inyección por medio de la presión del material o de algún mecanismo externo, permitiendo el paso de material. Cuando finaliza la inyección, la válvula se cierra evitando que el material gotee. Son utilizadas principalmente con materiales de baja viscosidad.

Cada productor de maquinarias ofrece varios tipos de boquillas para cubrir las necesidades de los moldeadores. En la figura 1.24 se presentan dos tipos de boquillas.

Figura 1.24 Boquillas de vástago: a) tipo apoyada y b) tipo separada.

Fuente: <http://protoplasticos.blogspot.mx/>



Sistema de calentamiento

De acuerdo a los autores Ramos Carpio, M. y Ruiz, M. De María indican que los materiales termoplásticos en la parte de la boquilla requieren de una temperatura mayor a las zonas precedentes en su proceso de transformación; es decir, que pasa de la fase sólida a la fase de plasticidad.

Función

Para calentar los sistemas de plastificación de máquinas inyectoras se utilizan, casi exclusivamente, calefactores eléctricos que producen calor mediante resistencias eléctricas. Otros tipos de calefacción por inducción, vapor, gas o aceite, son menos utilizados, porque los problemas de regulación de temperatura son más difíciles de resolver.

El calor procedente del alambre de una resistencia eléctrica puede transmitirse de diversos modos al elemento a calentar. En la transmisión directa, el calor es derivado al elemento a calentar mediante una materia sólida (pared metálica o similar, conducción).

Calentamiento interno

Casos especiales, debidos a una forma particular de los elementos de la máquina, pueden hacer indispensable la aplicación de los elementos calefactores directamente en la pared; sin embargo, también dentro de los nervios de elementos calefactores de alta potencia se emplean cuerpos calefactores en forma de barra.

Se han acreditado aquí los elementos conocidos como cartuchos calefactores. Se colocan en un taladro acorde con sus dimensiones, cuyo diámetro será de 1-5 mm mayor que el del cartucho, según el tamaño del mismo. Esto es indispensable para permitir el correcto montaje y la sustitución.

En el empleo de cartuchos es necesario cuidar mucho de la instalación y aislamiento del cable de conexión. Se cuidará en especial que no existan esfuerzos de tracción. En muchos casos fracasa el efecto útil esperado en los cartuchos por la problemática de la unión del cable. La figura 1.25 exhibe un elemento de calentamiento externo.

Figura 1.25 Banda calefactora eléctrica con reflector y revestimiento protector.



Fuente: <http://www.alamaula.es/>



Calentamiento externo

Estos elementos han de adaptarse ampliamente a la forma de la máquina a calentar. El revestimiento separado que produce la presión tiene que poseer, en las cintas anchas, varios tornillos de fijación independiente, para permitir un buen contacto. La desventaja de todos los elementos calefactores de superficie es la pérdida de calor producida por adición en la superficie de la banda. Por ello, se han tomado medidas para reducir esta pérdida al mínimo posible. Se encuentran en el mercado elementos calefactores con revestimiento protector, que según datos de los fabricantes, proporcionan un rendimiento térmico hasta un 35 % superior por reflexión del calor.

El tercer factor es la potencia de servicio que abarca el calor derivado por calefacción permanente de nuevo granulado y las pérdidas de calor que influyen en el rendimiento.

Como cuarto y más importante factor hay que considerar el tipo de transmisión térmica. Es importante para la carga de los hilos de la resistencia calefactora, especialmente en elementos con aislamiento de mica. En todo elemento se produce una tensión, condicionada por el aislamiento, por influencia de la temperatura. Si no existen suficientes condiciones para disipar este calor, se forman campos térmicos de mayor temperatura que destruyen el aislamiento. En la figura 1.26 se muestra un elemento de calentamiento interno.

Figura 1.26 Banda calefactora de alta potencia para cilindros de plastificación.



Fuente: <http://www.alamaula.es/>

Pirómetros

Para captar los valores térmicos derivados del material por los elementos calefactores, y regular la energía de calefacción, es indispensable situar los puntos de medición de los aparatos medidores lo más próximos posible al camino de flujo del granulado a disgregar. Los valores así obtenidos se conducen al instrumento de medición, que los indica en forma visible o registra sobre papel, y puede dar, además, impulsos eléctricos para el mando y regulación de la energía calefactora.

Para tal fin se emplean aparatos indicadores o registradores transmisores de impulsos, que funcionan, en general, por expansión de medios líquidos por acción del calor, o por transformación de energía térmica en eléctrica.



Termopares

Casi nunca se encuentra el aparato medidor directamente unido al cilindro exceptuando las manipulaciones de medición y registro para ensayos analíticos o técnicos. Generalmente se captan las temperaturas en el punto de medición mediante sondas, y se conducen a los termómetros indicadores o receptores eléctricos mediante conducciones rígidas o flexibles.

En la medición por vía física, la expansión del medio de medición mueve un indicador y registra sobre una escala la temperatura del cilindro en el punto de medición.

Con el ajuste de una o varias marcas de tolerancia, en forma de contactos, el indicador del instrumento cierra, abre o conmuta circuitos eléctricos.

Con ellos se excitan los relés de la instalación reguladora de temperatura. La figura 1.27 presenta diversos termopares.

Figura 1.27 Diferentes tipos de termopares.



Fuente: <http://www.alamaula.es/>

Todas las máquinas de inyección poseen las mismas partes; mas, existen algunos arreglos especiales. Estos arreglos pueden ser los siguientes: inyección horizontal o inyección vertical.

1.4.3 Características principales de una máquina de inyección

Las características principales de una máquina de inyección son aquellas que permiten definir las limitaciones en el tamaño y en el peso de la pieza a inyectar, tamaño de molde, producción, entre otros, estas características generales incluyen las especificaciones del fabricante de la máquina, en las cuales destacan las unidades de presión y de cierre, ya que es más común diseñar un molde para utilizarlo en una máquina determinada, que diseñar un molde y buscar un modelo de máquina que cumpla con los requerimientos del mismo.

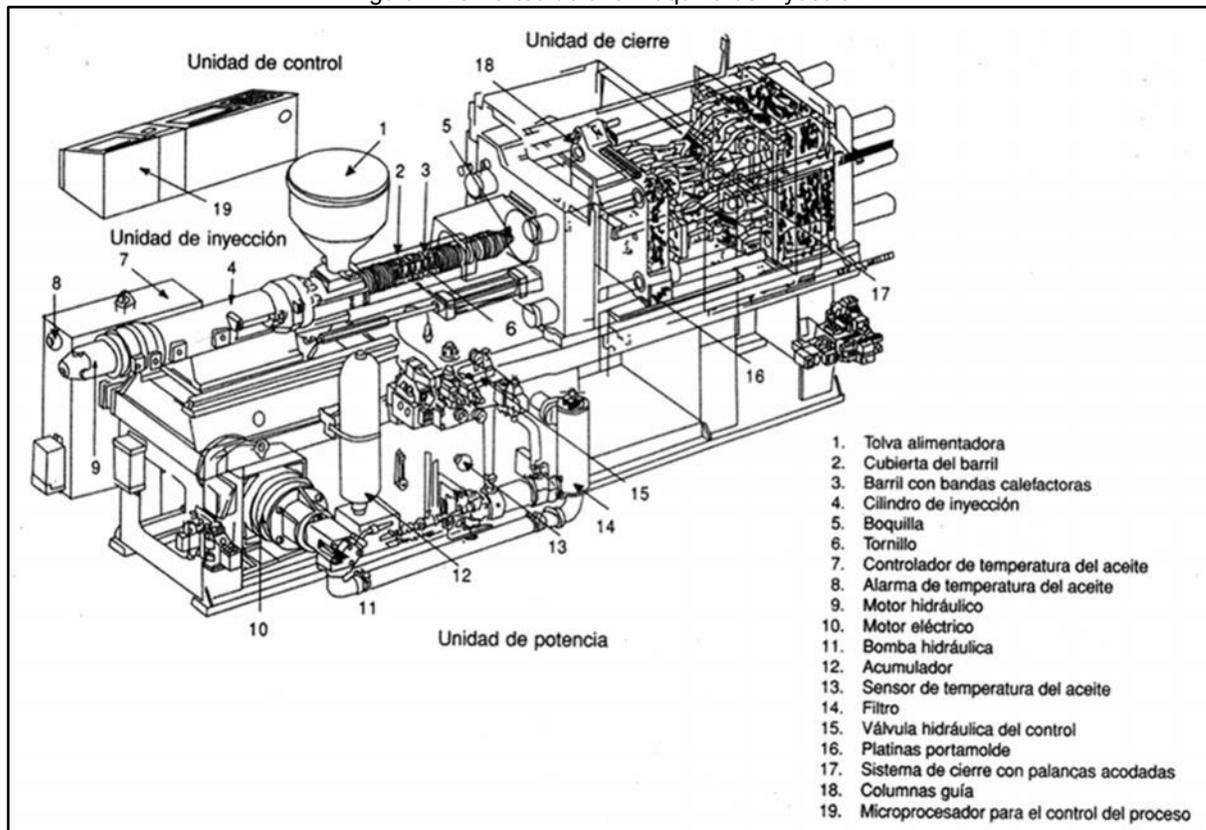
Las partes principales de una máquina de inyección se exponen en la figura 1.28.



La unidad de inyección es la parte plastificante de la máquina, en ésta se tienen varias características relevantes, que permiten definir y comparar capacidades:

- ⊕ Diámetro del husillo.
- ⊕ Volumen a inyectar.
- ⊕ Presión de inyección.
- ⊕ Relación L/D.
- ⊕ Velocidad máxima del husillo.
- ⊕ Velocidad de inyección.
- ⊕ Capacidad de plastificación.

Figura 1.28 Partes de una máquina de inyección.



Fuente: Maya, 2007

Entre las principales características de la unidad de cierre están:

- ⊕ Fuerza de cierre.
- ⊕ Altura máxima del molde.
- ⊕ Carrera de apertura.
- ⊕ Espacio entre barras.

Dentro de la unidad de cierre, el tamaño mínimo de una prensa está determinado por la presión requerida para cerrar el molde durante el ciclo de moldeo.

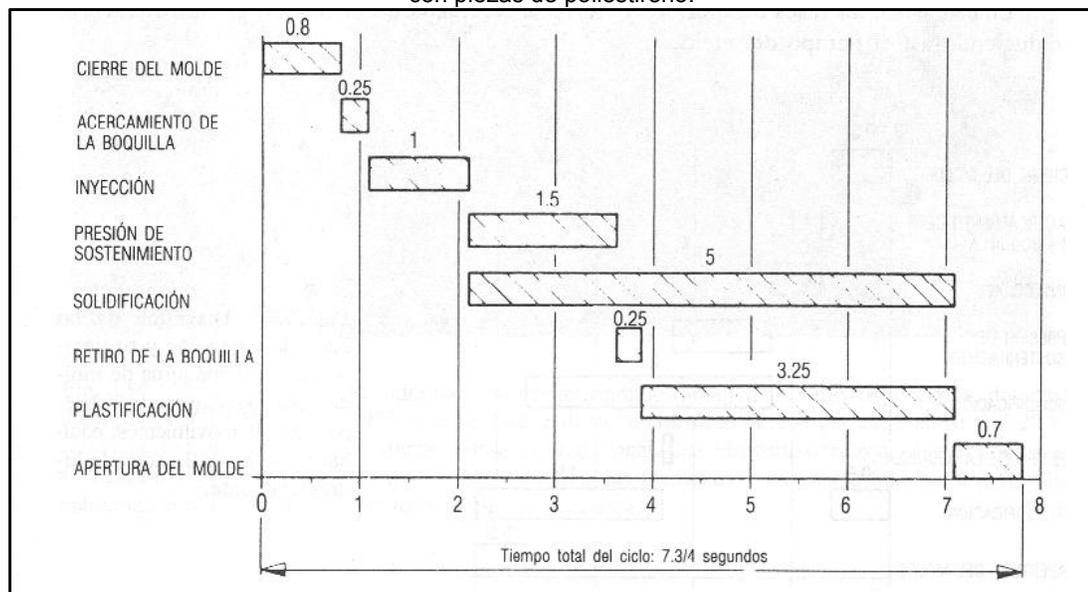


1.4.4 Condiciones de operación de una máquina de moldeo por inyección

En una máquina de moldeo por inyección, las fases de operación de un ciclo de producción se efectúan según el diagrama que a continuación se presenta y son:

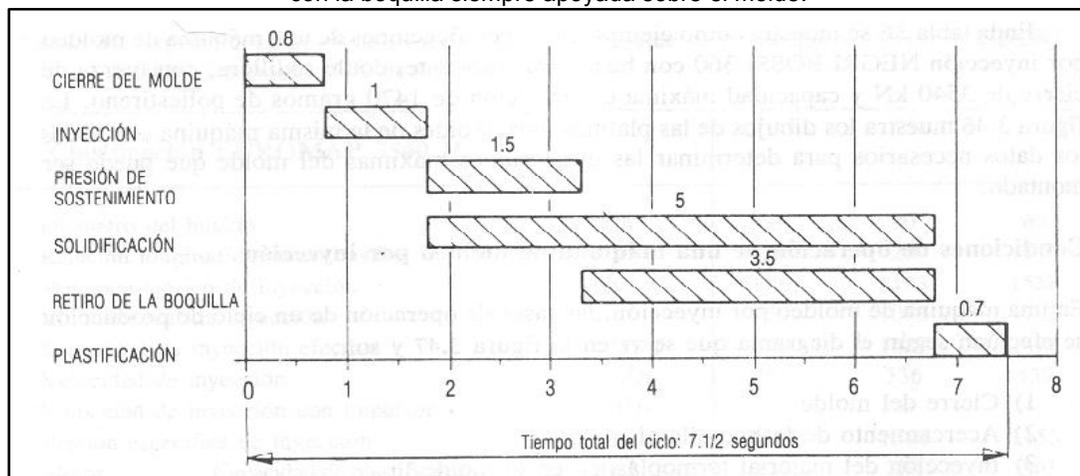
- I. Cierre del molde.
- II. Acercamiento de la boquilla al molde.
- III. Inyección del material termoplástico en el molde.
- IV. Pospresión de inyección (presión de sostenimiento).
- V. Solidificación de material inyectado en el molde.
- VI. Retiro de la boquilla del molde.
- VII. Plastificación (dosificación del material en la cámara de inyección).
- VIII. Apertura del molde y expulsión de la pieza inyectada.

Figura 1.29 Diagrama de las fases de operación y su tiempo para una máquina con ciclo de producción con piezas de poliestireno.



Fuente: Gutiérrez y Oñate, 2006

Figura 1.30 Diagrama de las fases de operación y su tiempo, para una máquina de moldeo por inyección con la boquilla siempre apoyada sobre el molde.



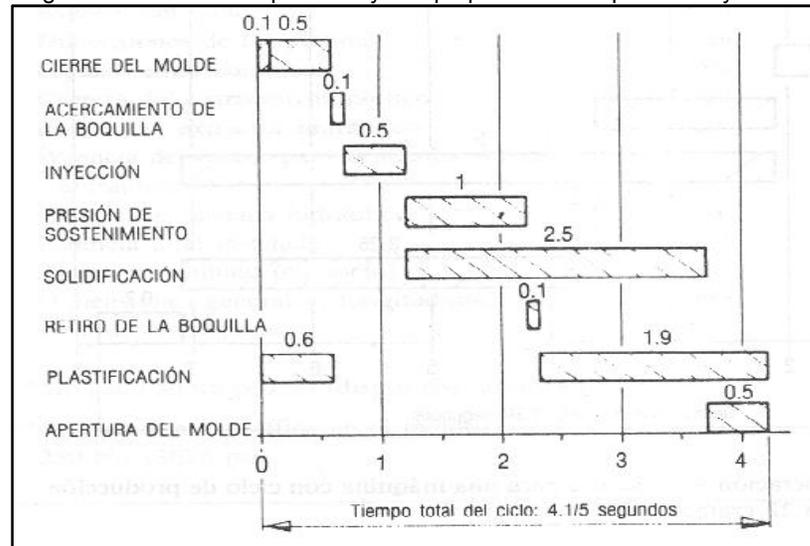
Fuente: Gutiérrez y Oñate, 2006



Si la máquina trabaja con la boquilla siempre en contacto con el molde, las fases 2 y 6 no se afectan, y en tal caso la secuencia de las fases del ciclo corresponde al diagrama representado en la figura anterior.

En el caso de una máquina que trabaja con sobreposición de movimientos, la secuencia del ciclo se modifica como se especifica en el diagrama de la figura 1.31. En este caso, las fases de apertura y cierre se efectúan durante la fase de plastificación, reduciendo así el tiempo del ciclo.

Figura 1.31 Fases de operación y tiempo para una máquina de inyección.



Fuente: Gutiérrez y Oñate, 2006

1.4.5 Regulación de los parámetros de moldeo

Con el objetivo de adaptarse a las exigencias de calidad, precisión de las piezas, características del molde y del material termoplástico que se utilice, en una máquina de moldeo por inyección, todos los parámetros del ciclo de trabajo pueden variarse y regularse. Los parámetros que deben regularse en una máquina de inyección en función de las características anteriormente mencionadas son las siguientes:

1. Velocidad del cierre del molde.
2. Velocidad de apertura del molde.
3. Carrera de la platina móvil.
4. Fuerza de cierre del molde.
5. Espesor del molde (distancia entre platinas).
6. Tiempo entre ciclos (reciclo).
7. Velocidad de inyección.
8. Velocidad de plastificación (RPM velocidad del husillo).
9. Carrera de inyección y espesor del colchón.
10. Primera presión de inyección (presión de llenado).
11. Segunda presión de inyección (pospresión o presión de sostenimiento).
12. Tiempo de sostenimiento (pospresión).
13. Contrapresión sobre el husillo.
14. Tiempo de solidificación del material inyectado en el molde.



15. Carrera de separación de la boquilla al molde.
16. Temperatura del cilindro de plastificación.
17. Temperatura de la boquilla.
18. Temperatura del molde (medio molde fijo y móvil).
19. Carrera de extracción.
20. Velocidad de extracción.
21. Fuerza de extracción.

Algunos de estos parámetros requieren una regulación predeterminada fácil de ajustar, otros en cambio son confiados a la habilidad del operador que efectúa el ajuste de la máquina. De estos últimos los más críticos son:

- 1) Carrera de inyección.
- 2) Velocidad de inyección.
- 3) Tiempo de inyección.
- 4) Presión de sostenimiento de inyección.
- 5) Velocidad del husillo.
- 6) Tiempo de ciclo.

Todos los dispositivos para la variación de estos parámetros se encuentran en la unidad de control de la máquina que por su avance tecnológico pueden ser de tipo digital o análoga. En la siguiente figura se exhibe la unidad de control de la máquina de inyección empleada para la fabricación del asta bandera.

Figura 1.32 Unidad de control de la máquina de inyección.



El registro completo de los datos necesarios para el funcionamiento de la máquina de inyección puede ser almacenado en la memoria de la máquina o en caso contrario por medio de formatos establecidos por el operador; sin embargo, no se debe olvidar que factores externos como la calidad del material termoplástico inyectado y factores ambientales como la temperatura y la humedad pueden afectar estos ajustes.



Tabla 1 Temperatura de procesamiento de los materiales de inyección.

TEMPERATURA MATERIAL		Brida	CALEFACCIÓN				Molde
			Zona 1 (°C)	Zona 2 (°C)	Zona 3 (°C)	Boquilla (°C)	
Poliétileno de baja d.	LDPE	20-30	190-230	200-240	210-250	185-250	20-60
Poliétileno de alta d.	HDPE	20-30	210-280	20-290	230-300	190-300	20-60
Polipropileno	PP	20-30	200-250	210-270	220-290	230-300	20-80
Poliestireno	PS	20-30	145-200	155-215	165-230	150-230	10-50
Acrilonitrilo-butadieno-estireno	ABS	35-45	200-260	210-270	220-280	190-280	30-80
Estireno-acrilonitrilo	SAN	35-45	200-260	210-270	220-280	190-280	30-80
Poliamida 6	PA 6	60-80	220-240	220-250	230-260	220-260	60-100
Poliamida 6.6	PA 6.6	60-80	270-295	270-295	270-295	260-295	40-90
Polimetil-metacrilato	PMMA	50-60	200-230	210-240	220-250	200-250	40-80
Polioxido de metileno	POM	30-40	185-200	185-200	185-215	185-220	40-120
Poliétilen tereftalato	PET	60-80	220-270	230-280	240-290	230-290	90-140
Policloruro de vinilo plastificado	PVC	30-40	130-150	140-160	150-170	140-200	20-60
Policloruro de vinilo duro	PVC	30-40	140-160	150-170	160-180	145-180	20-60
Policarbonato	PC	70-90	250-280	270-300	290-320	250-320	80-120
Acetato de celulosa	CA	40	160-190	175-210	185-225	160-225	40-80
Poliuretano	PUR		180-215	190-225	200-235	175-230	40-80

Fuente: Ramos y Ruiz, 1988

1.4.6 Ajustes en la máquina para eliminar defectos y depresiones superficiales en la pieza

Ante el problema de las depresiones, la mejor estrategia inicial es reducir la temperatura del molde 10 °F (6 °C) cada vez. El límite mínimo de temperatura sería el punto en el cual, el llenado del molde ya no es completo.

Si las depresiones persisten, entonces debe aumentar el tiempo de inyección. Si el contenido del canal de alimentación no se ha solidificado cuando el pistón se retira, algo de material será extraído del molde, produciendo depresiones en la pieza; sin embargo, para evitar ciclos excesivamente largos, el tiempo de secado debe incrementarse únicamente hasta asegurar que ya no se está extrayendo material.

Otra manera de evitar depresiones consiste en sacar las piezas y enfriarlas rápidamente en agua, esta técnica es muy útil cuando persisten las depresiones a pesar de reducir la temperatura del molde.

Sólo como último recurso se debe aumentar la presión de inyección; aunque al hacer esto, se eliminarían las depresiones, pero habría problemas muy graves de tensiones internas en las piezas.



Las causas posibles de depresiones son: molde a temperatura muy alta; tiempo o presión insuficiente de inyección; mal diseño de la pieza, secciones no uniformes o paredes muy gruesas; sitio de inyección mal colocado y enfriamiento lento de las piezas. La tabla 2 especifica las fallas más comunes en el proceso de moldeo por inyección y las soluciones a éstas.

Tabla 2 Fallas más comunes en el proceso de inyección.

Falla	VARIACIONES DE MÁQUINA										DISEÑO MOLDE				ACCIONES CORRECTIVAS										
	TEMP. CILINDRO	TEMP. BOQUILLA	TEMP. MOLDE	CONTRAPRESION	PRES. INYECCION	POS. PRESION	PRESION CIERRE	VEL. INYECCION	VEL. TORNILLO	TORNILLO ADELANTE	TIEMPO ENFRIAMIENTO	TAMANO CARGA	COLCHON	BEBEDERO	DIAM. CANAL BEBEDERO	ESCAPE AIRE	TAMANO ENTRADA	ESPESOR PIEZA	LIMPIE Y PULA MOLDE	LUBRICANTE EXTERNO	AGENTE DESMOLDANTE	SECAR POLIMERO	PULIR BEBEDERO	BALANCEE ENTRADA	
REBABA	7.1	2.2	2.2	3.2	2.2	3.2	1.1	1.1	5.2	3.2	4.2	1.1													
BOQUILLA TAPADA	7.1	2.2	2.2	3.2	2.2	3.2	1.1	1.1	5.2	3.2	4.2	1.1													
ESCURRIMIENTO EN LA BOQUILLA	1.1	1.1	1.1	3.2	2.2	3.2	1.1	1.1	5.2	3.2	4.2	1.1													
SOBREEMPAQUETAMIENTO	1.1	1.1	1.1	3.2	2.2	3.2	1.1	1.1	5.2	3.2	4.2	1.1													
PARTES QUE SE PEGAN	5.2	5.2	5.2	3.2	2.2	3.2	1.1	1.1	5.2	3.2	4.2	1.1													
CARGA INSUFICIENTE	5.2	5.2	5.2	3.2	2.2	3.2	1.1	1.1	5.2	3.2	4.2	1.1													
INYECCION LENTA	7.1	5.1	4.1	6.1	1.1	4.1	4.1	2.1	2.1	2.1	1.1	1.1													
PLASTIFICACION LENTA	7.1	5.1	4.1	6.1	1.1	4.1	4.1	2.1	2.1	2.1	1.1	1.1													
BEBEDERO ADHERIDO	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1													
GRANOS SIN FUNDIR	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1													
MANCHAS NEGRAS	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1													
VETAS MARRON	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1													
BURBUJAS DE AIRE	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1													
ENGRUENTAMIENTO Y FRACTURA	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1													
LINEAS DE FLUJO	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1													
ALTOS ESFUERZOS INTERNOS	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1													
VETAS	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1													
FLUJO BAJO	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1													
LINEAS DE SOLDADURA	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1													
VETAS PLATEADAS	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1													
RECHUPE	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1													
ALABEADO	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2													
BURBUJAS DE VACIO	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2													
MALA DISTRIBUCION DE COLOR	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2													

Fuente: Harper, 2000



CAPÍTULO II.

DISEÑO DEL MOLDE



Una vez que se tiene el modelo de la pieza, se puede empezar a diseñar el molde. Al momento de diseñarlo se deben considerar diferentes aspectos tales como la geometría de la pieza; ya que, ésta condicionará su posición en el molde, el posicionamiento de las correderas, el posicionamiento del sistema de alimentación, del sistema de enfriamiento y del sistema de expulsión; en definitiva, éste girará en torno de la geometría de la pieza a fabricar en todo el molde.

Actualmente existen varias empresas especializadas que suministran moldes muy bien elaborados y preparados con lo que se ahorra mucho tiempo en la fabricación del molde, pero lo más importante es ubicar bien la pieza y ajustar el molde. En definitiva, se seleccionará el molde que más convenga y que mejor se ajuste a la pieza que se quiere fabricar.

Los moldes disponen de una línea de partición por donde el molde se separa, una parte fija y una móvil; sin embargo, para que el molde no se separe durante la manipulación y transportación, se le instala una placa atornillada a cada parte del molde por donde se divide, a este tipo de elemento se le llama seguro del molde.

En resumen, un molde es un conjunto de piezas, unas prefabricadas, otras hechas a la medida que hacen posible la fabricación de otras piezas, por esta razón es de suma importancia hacer un estudio minucioso para la fabricación del molde, ya que, esto ahorrará tiempo y dinero.

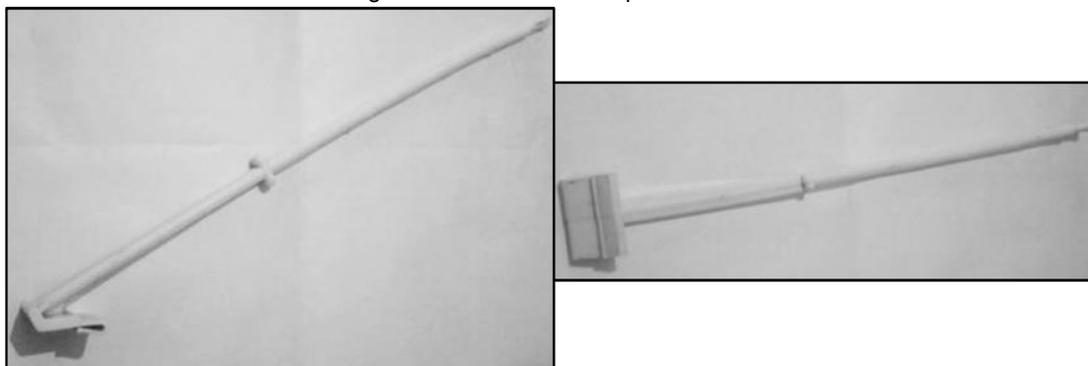
2.1 ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO DEL MOLDE

Se construirá un molde de inyección de 2 cavidades con sistema autónomo de expulsión de piezas.

2.1.1 Descripción de la pieza

Fabricación de un asta para bandera que se utilizará en los vehículos automotores por moda de temporada.

Figura 2.1 Asta bandera tipo ventanilla.





2.1.2 Diseño de la pieza

Para el diseño es indispensable conocer las características de las piezas que se piensan procesar, las más importantes son:

- I. Geometría.
- II. Material.
- III. Masa.
- IV. Volumen.

La geometría de una pieza de plástico se proporciona generalmente a través de un plano.

El uso de la tecnología CAD para el diseño de la pieza en el entorno de la ingeniería, es indispensable. El diseño lo lleva a cabo generalmente la empresa cliente o el servicio de ingeniería externa; en el archivo CAD es necesario que aparezcan las características a detalle de la pieza a inyectar, tomando en cuenta las recomendaciones de diseño para el proceso de moldeo por inyección.

2.1.3 Material de fabricación de la pieza

En la selección del material de fabricación de la pieza plástica se deben considerar algunos factores que involucran: la funcionalidad, la calidad, la economía de la pieza, pero principalmente se debe considerar si se debe cumplir alguna norma por cuestiones de uso del producto, si esto es así, se debe emplear el material que indique la norma.

Conociendo el material de la pieza a fabricar y la geometría, se puede determinar el volumen y la masa de la pieza a inyectar.

El material de fabricación de la pieza debe de tener ciertas características definidas para proporcionar un resultado esperado, en el caso específico de esta tesis se desarrollará un producto que debe cumplir con los siguientes requisitos:

- El material de fabricación es polietileno de alta densidad (HDPE).
- El material debe ser reciclado para obtener una mejor economía y tener un mayor impacto en el mercado.

2.1.4 Datos para cálculos del asta bandera

Los siguientes datos fueron obtenidos con el software de tipo CAD SolidWorks® Premium 2011; una vez que se dibujó la pieza, se dio clic en la pestaña *calcular* y posteriormente en *propiedades físicas*.

Propiedades físicas de asta bandera

Densidad = 0.95 gramos por centímetro cúbico

Masa = 107.12 gramos

Volumen = 112520.88 milímetros cúbicos

Área de superficie = 37260.14 milímetros cuadrados



Centro de masa: (milímetros)

$$X = 0.00$$

$$Y = -2.56$$

$$Z = 341.67$$

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Medido desde el centro de masa.

$$I_x = (0.00, -0.02, 1.00) \quad P_x = 15995.39$$

$$I_y = (1.00, -0.00, -0.00) \quad P_y = 2186367.91$$

$$I_z = (0.00, 1.00, 0.02) \quad P_z = 2186397.97$$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$L_{xx} = 2186367.91 \quad L_{xy} = 0.00 \quad L_{xz} = -0.54$$

$$L_{yx} = 0.00 \quad L_{yy} = 2185824.31 \quad L_{yz} = -35281.00$$

$$L_{zx} = -0.54 \quad L_{zy} = -35281.00 \quad L_{zz} = 16569.05$$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$I_{xx} = 14692045.39 \quad I_{xy} = -0.00 \quad I_{xz} = 0.06$$

$$I_{yx} = -0.00 \quad I_{yy} = 14690800.80 \quad I_{yz} = -128907.65$$

$$I_{zx} = 0.06 \quad I_{zy} = -128907.65 \quad I_{zz} = 17270.05$$

2.1.5 Cálculos para asta bandera

Los cálculos que aparecen a continuación fueron desarrollados tomando como referencia los datos obtenidos del software SolidWorks® Premium 2011, mostrados en el inciso 2.1.4 Datos para cálculos del asta bandera.

1.- Área de la pieza

$$A_p = 37\,260.14 \text{ mm}^2 = 372.6 \text{ cm}^2$$

2.- Cálculo del recorrido de flujo

Colada + pieza

$$(58 + 25.4)(\text{mm}) + \sqrt{(25.40 \text{ mm})^2 + (282.58 \text{ mm})^2}$$

$$\text{Recorrido de flujo} = 367.10 \text{ mm}$$

3.- Cálculo de la relación de flujo y determinación de la presión de la cavidad

$R_f = \text{Recorrido de flujo} / \text{Espesor de pared}$

$$R_f = 367.1 \text{ mm} / 6.3 \text{ mm} = 58.27$$

Es decir, la relación de flujo = 58:1



Con la relación de flujo (58:1) y el espesor de pared (6.3 mm), de la gráfica 1 se deduce que la presión de la cavidad es 116 bar \approx **118.32 kg/cm²**

4.- Cálculo de la presión de inyección

Pi = Presión de la cavidad x factor de corrección

$$P_i = 118.32 \text{ kg/cm}^2 \times 1.15 \text{ (HDPE)}$$

$$P_i = 136 \text{ kg/cm}^2$$

5.- Cálculo de la fuerza de cierre

Fc = Área de la pieza x Presión de inyección

$$F_c = 372.6 \text{ cm}^2 \times 136 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_c = 50\,673.8 \text{ kg}$$

Por lo que la máquina de inyección deberá tener una fuerza de cierre mínima de 51 Ton para poder inyectar la pieza. Considerando un 20 % más nos dará alrededor de 61 Ton.

6.- Verificación de las características de fabricación de la pieza.

Masa de la pieza =	103.18 g
Densidad del material a inyectar =	952 kg/m ³
Cantidad de piezas a fabricar por ciclo =	2 piezas
Área de la pieza a inyectar =	37 260.14 mm ²
Volumen de una pieza =	113 000 mm ³
Espesor máximo considerado =	6.30 mm

7.- Cálculo de las características geométricas de la pieza.

$$V_{\text{total}} := \# \text{ piezas (V/pieza)}$$
$$\text{Volumen total de las piezas} = 226\,000 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{Sist. Alim.}} = 0.3 (V_{\text{total}})$$
$$\text{Volumen del sistema de alimentación} = 67\,800 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{total por Iny.}} := V_{\text{total}} + V_{\text{Sist. Alim.}}$$
$$\text{Volumen total por inyección} = 293\,800 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{total por Iny. Unit.}} := V_{\text{total por Iny.}} / \# \text{ de piezas}$$
$$\text{Volumen total por inyección unitario} = 146\,900 \text{ mm}^3$$

8.-Cálculo de la capacidad de inyección.

$$m_{\text{total}} := \# \text{ piezas (m/pieza)}$$
$$\text{Masa total de las piezas} = 206.36 \text{ g}$$



$$m_{\text{Sist. Alim.}} = 0.3 (m_{\text{total}})$$

Masa del sistema de alimentación = 61.91 g

$$m_{\text{total por Iny.}} = m_{\text{total}} + m_{\text{Sist. Alim.}}$$

Masa total por inyección = 268.27 g

9.-Comparación de la capacidad de inyección.

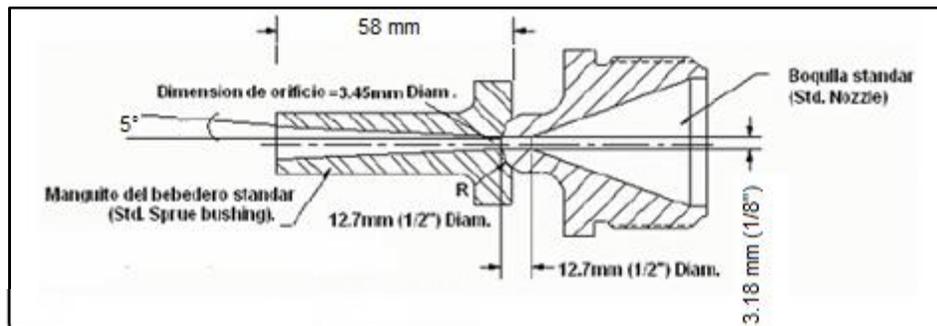
Capacidad de inyección requerida = masa total por inyección = 268 g

Capacidad de inyección de la máquina = 335 g

Condición para utilizar una máquina de inyección:

Capacidad de inyección requerida < Capacidad de inyección de la máquina

10.-Cálculo de la sección de la boquilla.



$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{2L} \longrightarrow \alpha = \tan^{-1} \left[\frac{2(D-d)}{2L} \right]$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{2(11.311-6.35)(\text{mm})}{2(58 \text{ mm})} \right] \longrightarrow \alpha = 4.89 \cong 5^\circ$$

Ángulo del bebedero = 5°

2.1.6 Información complementaria para la fabricación del producto

En este inciso se presentan algunas características del material utilizado para la fabricación de la pieza; así como también características de la máquina de inyección empleada para la fabricación del asta bandera (contemplar la figura 2.2).

Tabla 3 Características del polietileno de alta densidad.

Características del material de inyección (HDPE)		
Magnitud o parámetro	Valor	Unidad
Densidad del material	952	kg/m ³
Presión de inyección	1.7237	MPa
Temperatura de elaboración	493.15	K
Temperatura del molde	308.15	K
Temperatura de desmoldeo	343.15	K



Tabla 4 Hoja de características técnicas de la máquina de inyección.

Modelo	1700/630	Código	15020	Familia	Spartan	
Sección de la máquina	Características técnicas/Technical data					
	Denominación	Item	Unidad	Valor		
Unidad de inyección/Injection unit	Husillo tipo	Screw model			Std.	
	Diámetro nominal del husillo	Screw diameter	mm	45	50	55
	Relación long./diám. del husillo	Screw length/diameter ratio	L/D	22	20	18
	Presión de inyección	Injection pressure	kg/cm ²	1990	1610	1330
	Volumen de inyección calculado	Theoretical shot volume	cm ³	318	392	475
	Peso máximo de inyección (PS)	Injection weight (PS)	g	270	335	400
	Velocidad de inyección (PS)	Injection rate (PS)	g/s	216	267	323
	Carrera máxima husillo	Max. Screw stroke	mm	200		
	Velocidad de giro del husillo	Screw speed	RPM	0 - 250		
	Par máximo de giro del husillo	Max. Screw torque	Nm	1330		
	Fuerza máxima apoyo boquilla	Max. Nozzle sealing force	Nm	62		
	Carrera máxima boquilla	Max. Nozzle stroke	mm	350		
	Zonas de temperatura	Heating zones		3+1		
	Potencia de calefacción	Heating power	kW	.	12.6	.
Unidad de cierre/Clamping unit	Fuerza máxima de cierre	Clamping force	kN	1700		
	Carrera máxima de apertura	Mould palte stroke	mm	430		
	Luz máxima entre platos	Max. Daylight	mm	930		
	Altura de molde	Mould thickness	mm	150	--	500
	Dimensiones del plato	Platen dimensions	mm	740 x 670		
	Luz entre columnas	Space between tie bars	mm	520 x 450		
	Diámetro de las columnas	Tie rod diameter	mm	80		
	Fuerza máxima expulsor	Ejector force	kN	70		
	Carrera máxima del expulsor	Ejector stroke	mm	150		
Datos generales/General data	Potencia motobomba	Pump motor power	kW (CV)	22 (30)		
	Potencia total instalada	Installed power	kW	36		
	Capacidad del tanque de aceite	Hydraulic tank capacity	L	450		
	Dimensiones máquina (L*W*H)	Machine size (L*W*H)	m	5.66*1.02*2.10		
	Peso neto (sin aceite)	Machine weight	Tm	7.10		
	Control RX1000/ME	Control RX1000/ME				



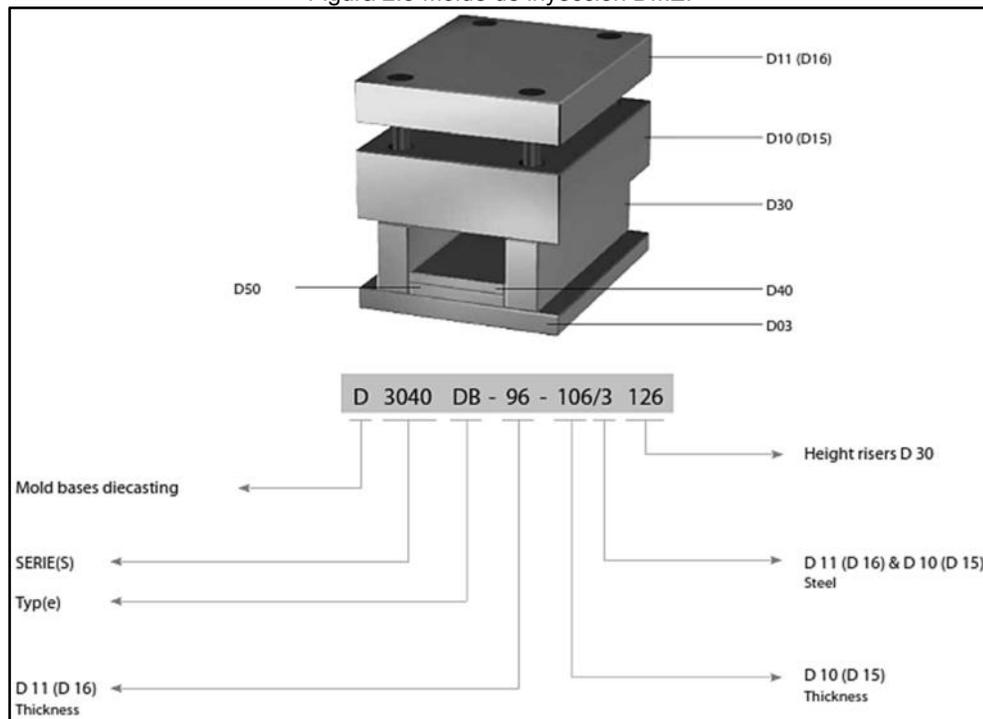
Figura 2.2 Máquina de inyección de plástico Modelo 1700/630.



2.2 FUNCIÓN Y CONSTITUCIÓN DEL MOLDE

Un molde es una pieza o un conjunto de piezas acopladas, interiormente huecas o conteniendo un material fácilmente fundible (cera), con la forma del futuro sólido que se desea obtener. Un molde (ver figura 2.3) es un conjunto de elementos integrados para lograr formas definidas.

Figura 2.3 Molde de inyección DME.



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



En su interior se vierte la materia fundida, fluida o plástica, como el metal, hormigón, etc., que cuando se solidifica adquiere la forma del molde que lo contiene. Una vez retirado el molde, se procede a repasar la pieza obtenida, corrigiendo las posibles imperfecciones en las zonas de acoplamiento.

Se emplea profusamente para obtener piezas moldeadas, tanto en la industria, como en la construcción y el arte. En la industria, al molde en que se funden objetos de metal se le llama matriz. En construcción, al molde, con el conjunto de piezas auxiliares, se le denomina encofrado.

Función

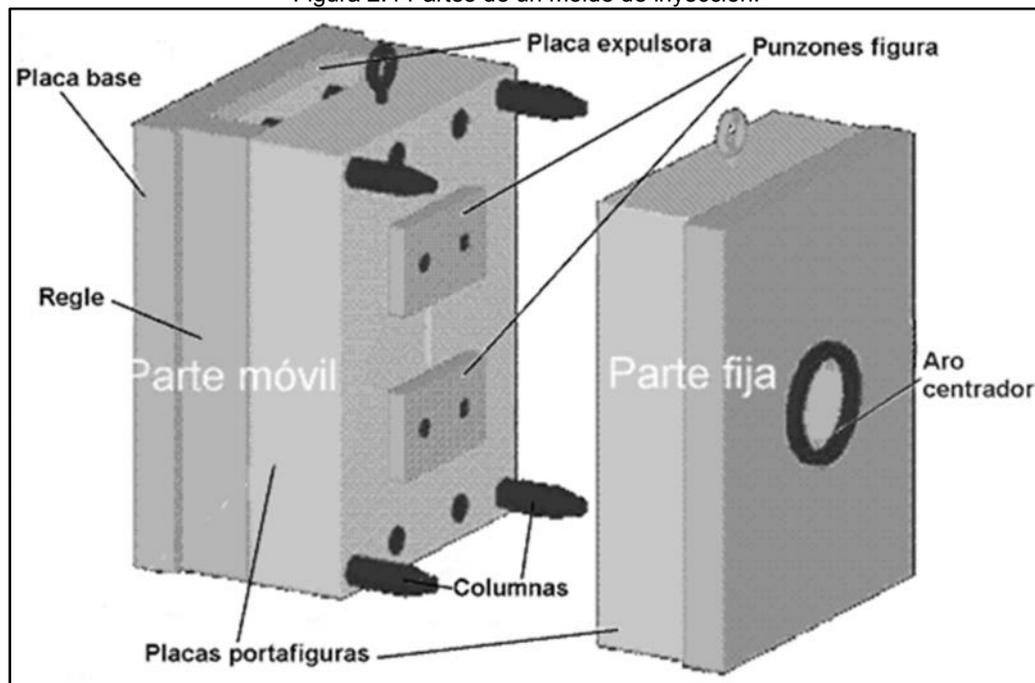
La función básica del molde es la de dar forma al plástico inyectado, es decir, conformar la geometría o formas, dimensiones, tolerancias y acabados requeridos por el diseño. Para esto, el molde debe estar diseñado y adaptado a la máquina de inyección, al plástico, a la geometría de la pieza, a los volúmenes de fabricación y, por consiguiente, a los ciclos de producción.

Todo molde es único, está diseñado y fabricado para obtener una pieza determinada, aunque para moldear una misma pieza se pueden diseñar diferentes tipos de moldes.

Constitución

El molde de inyección se divide en dos partes bien diferenciadas: la fija o de inyección y la móvil o de expulsión (figura 2.4). Cuando estas dos partes se unen, dejan un vacío en el que se inyecta el plástico y moldea la pieza.

Figura 2.4 Partes de un molde de inyección.



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



2.3 PARTES BÁSICAS DE UN MOLDE

Los moldes están formados por dos mitades llamadas: parte fija o de inyección y parte móvil o de expulsión. A continuación se describen dichas partes.

- Parte fija o de inyección (figura 2.5), llamada así porque es la parte del molde que no se mueve cuando la máquina de inyectar realiza todos sus movimientos. Está sujeta al plato de la máquina fijo, y es donde se apoya el cilindro de inyección de la máquina, para introducir en el molde el plástico fundido, o sea, es el que está más cerca del grupo inyección, (de ahí el segundo nombre).

Figura 2.5 Parte fija o de inyección del molde.



- Parte móvil o de expulsión (figura 2.6), llamada así porque es la parte que está sujeta al plato móvil de la máquina y solidariamente con ésta, se mueve. También es donde está normalmente ubicado el sistema de expulsión de la pieza cuando está terminada.

Figura 2.6 Parte móvil o de expulsión del molde.



A su vez, cada una de estas partes está formada por los elementos siguientes:

- Placa base. Placa de dimensiones (ancho y alto) adecuadas para que según el tamaño de pieza a inyectar, queden espacios libres por donde se podrá sujetar mediante bridas al plato fijo de la máquina. El grosor de esta placa será lo suficiente, para evitar deformaciones y dependerá del peso total del molde (20-50 mm).

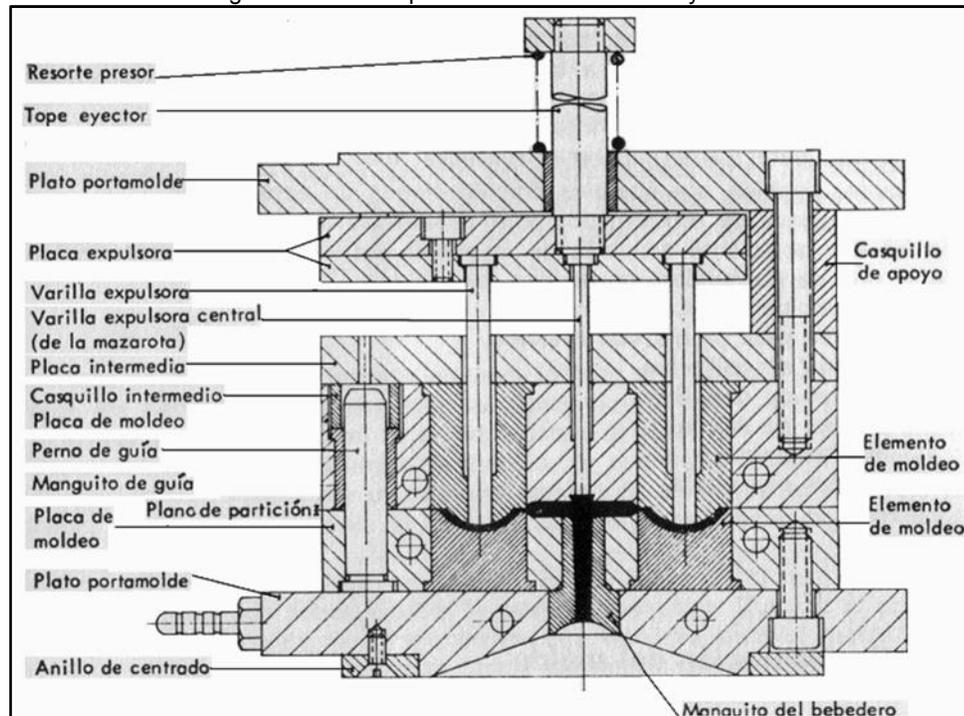


- Placa portafiguras. Existen en ambas mitades. Son las placas donde se realizan las figuras de la pieza, bien sea como postizos ajustados en la misma, o directamente realizados sobre ella. Estos postizos o figuras, uno será hembra y otro macho. La hembra, llamada cajera, suele realizarse siempre que sea posible en la parte fija del molde. Y el macho, llamado punzón, suele realizarse en la parte móvil.
- Bebedero. Ramales de distribución y entradas. Son huecos creados en el molde, que sirven para que el plástico fundido que viene del cilindro de inyección de la máquina, pueda llegar a través de ellos hasta los huecos que tienen la forma de la pieza. Podemos distinguir entre la mazarota, como primer tramo, donde la boquilla de la máquina apoya ajustándose al molde. Después pueden estar los ramales de distribución primarios, y pueden existir otros ramales que derivan de estos llamados secundarios, y finalmente están los bebederos y entradas a la pieza; estas entradas tienen diferentes formas según su utilización y materiales empleados. Estos conductos que se llenan de plástico y que no forman parte de la pieza, cuando el plástico se enfría constituyen una merma del material empleado, llamada coladas, que tiene que ser minimizada con un estudio minucioso de las mismas. También es posible mantener estos conductos a una temperatura lo suficientemente alta, mediante resistencias integradas en el molde, que mantengan el plástico fundido, si llegara a degradarse. Con ello se eludirá la merma de las coladas, hablando de moldes con colada caliente.
- Placa base. Al igual que para la parte móvil, sirve para su sujeción mediante bridas u otros elementos de fijación al plato móvil de la máquina de inyectar. A diferencia de la anterior, esta placa normalmente no lleva centrador, pero lleva un orificio en su parte central que permite la entrada del vástago expulsor de la máquina, hasta la placa expulsora del molde.
- Recuperadores. Son varillas cilíndricas de mayor tamaño que los expulsores, ubicadas fuera de la superficie del molde que hace pieza y cuya misión es evitar que los expulsores dañen el molde cuando se cierran ambas mitades. Asegura así, una recuperación de la placa expulsora y expulsores hasta su posición inicial.

Existen varias partes del molde como: correderas, sufrideras, noyos, expulsión por placa, expulsión por aire, sistema de colada caliente con obturadores, entre otras. En la figura 2.7 se presenta un corte de un molde donde se observan detalladamente las partes que lo constituyen.



Figura 2.7 Partes que forman un molde de inyección.



Fuente: Maya, 2007

2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS MOLDES

La clasificación de los moldes está determinada por las características físicas y de trabajo:

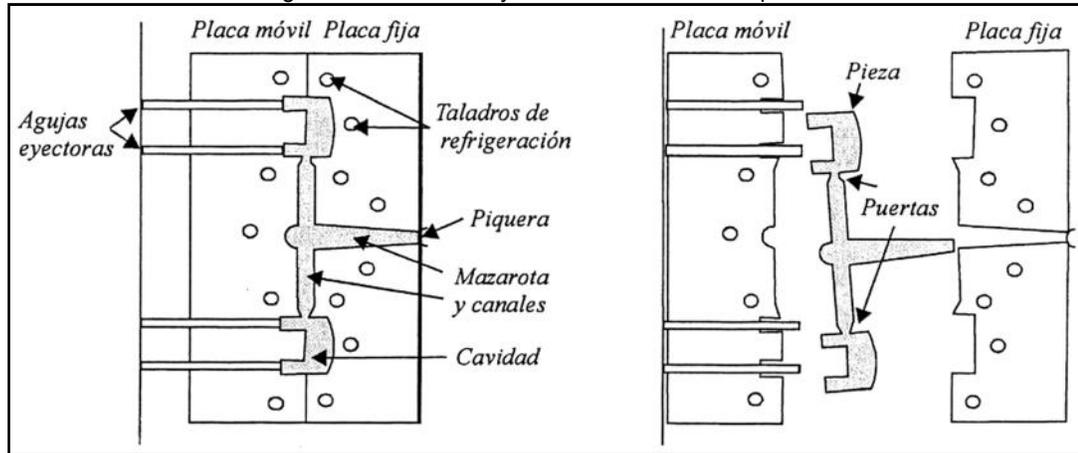
- I. Por su tamaño:
 - Grandes.
 - Pequeños.
- II. Por el número de cavidades:
 - De una sola cavidad.
 - De múltiples cavidades.
- III. Por la forma de trabajar:
 - Manuales.
 - Semiautomáticos.
 - Automáticos.
- IV. Por el tipo de construcción:
 - De dos mitades o platos.
 - De tres placas.
 - Sin sobrantes.



Un molde dividido en 2 semimoldes o más partes puede incluir cavidades para moldear varias piezas en un mismo tiro.

I. Molde con dos partes (figura 2.8):

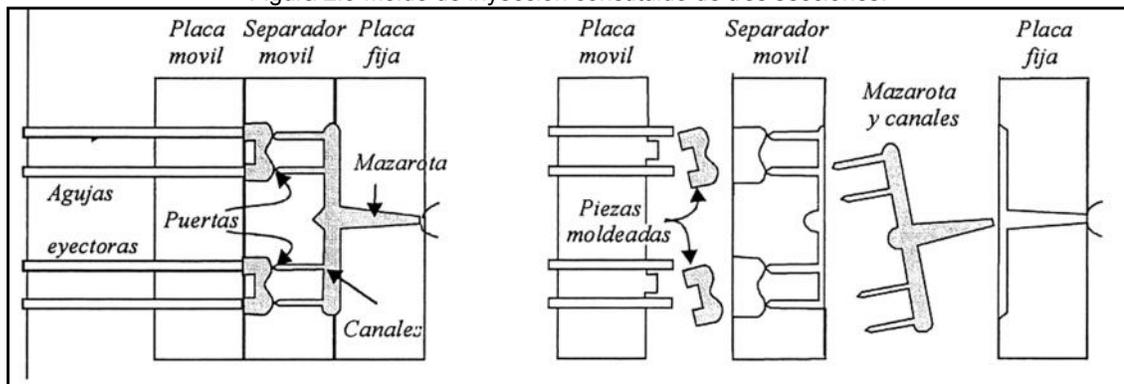
Figura 2.8 Molde de inyección formado de dos partes.



Fuente: Harper, 2000

II. Molde con tres o más partes (figura 2.9): facilita el desprendimiento del material solidificado en los canales y de la mazarota:

Figura 2.9 Molde de inyección constituido de tres secciones.



Fuente: Harper, 2000

2.5 NOMENCLATURA DE LOS MOLDES

Según la norma DIN E 16 750 “Moldes de inyección para materiales plásticos”, se pueden dividir de la manera siguiente:

- ⊕ Molde estándar (molde de dos placas).
- ⊕ Molde de mordazas (molde de correderas).
- ⊕ Molde de extracción por segmentos.
- ⊕ Molde de tres placas.
- ⊕ Molde de pisos (molde sandwich).
- ⊕ Molde de colada caliente.



Normativa

El Instituto Alemán de Normalización (DIN), presenta unas reglas que normalizan los componentes del molde. En la Tabla 5. Ejemplos de normas DIN, se indican algunas normas referentes a los moldes de inyección.

Tabla 5. Ejemplos de normas DIN para moldes.

Norma	Título
DIN 16749	Moldes de compresión y de inyección; tolerancias dimensionales para partes de moldeo.
DIN 16750	Herramientas para el moldeo por inyección de plástico, designaciones de materiales de moldeo y símbolos.
DIN 16754	Máquinas y herramientas para el moldeo por inyección de plástico, materiales de moldeo y dimensiones de conectores.
DIN 1530-3	Espigas de expulsión con cabeza cónica (expulsores).
DIN 9861-1	Punzones redondos con eje recto de hasta 20 mm de diámetro de corte.
DIN EN ISO 10642	Tornillos de cabeza hexagonal avellanada (tornillos Allen).

Fuente: Harper, 2000

2.6 POSICIÓN DE LA PIEZA Y NÚMERO DE CAVIDADES

La posición de la pieza y el número de cavidades que debe poseer el molde, está determinado por las condiciones técnicas y económicas que impone el cliente. Por un lado, se tienen la geometría de la pieza y el volumen de piezas a producir por año, y por el otro, la disponibilidad económica del cliente.

La forma y las dimensiones de la pieza serán el factor clave a la hora de posicionar la pieza en el molde. Se suele pensar que una pieza grande ocupará mucho espacio y que su molde será muy grande, y que al contrario, si la pieza es demasiado pequeña ocupará poco espacio en el molde y éste será, como consecuencia, más pequeño. Esto sería factible siempre y cuando la pieza tuviese una geometría sencilla; pero, normalmente no es así, ya que dicha pieza puede tener muchos negativos con los cuales se requiere utilizar varias correderas y, por ende, el volumen final del molde es mucho más grande. Este hecho es uno de los factores que determinan el número de cavidades de un molde, ya que si la pieza es de una geometría muy complicada, es posible que sólo pueda hacerse de una sola cavidad, esto es porque no es viable hacer otra, ya que resultaría más cara su fabricación o porque la demanda del producto no sea suficiente.

Otro de los factores importantes es el volumen de cantidad de piezas que el cliente pretenda obtener del futuro molde, así como el tiempo de fabricación.

Por último, el factor más importante es el económico. Un claro ejemplo es que el cliente solicita cotizaciones a diferentes fabricantes, por esta razón cuando se hace un presupuesto se intenta hacerlo lo más ajustado posible y atractivo económicamente para el cliente.



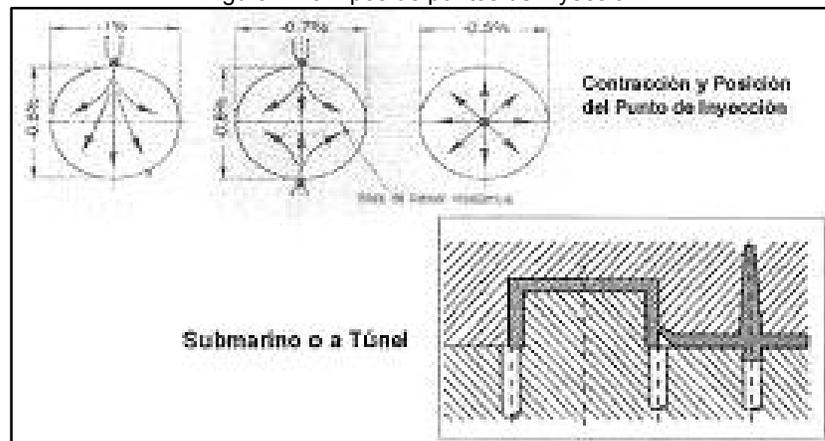
2.7 SISTEMA DE INYECCIÓN (ALIMENTACIÓN)

Al diseñar el sistema de inyección del molde o recorrido que se llevará el plástico para producir productos constantes, es básico revisar los siguientes aspectos:

1. Equidistancia de cavidades al centro del molde.
2. Balance del volumen en cada cavidad.
3. Sección de los canales de inyección o colada.
4. Mínima distancia de recorrido del material.
5. Ubicar puntos fríos.
6. Ventilación o salidas de aire.
7. Dimensión de puntos de inyección-largo, ancho y profundidad.
8. Localización del punto de inyección.
9. Tipo de punto de inyección:

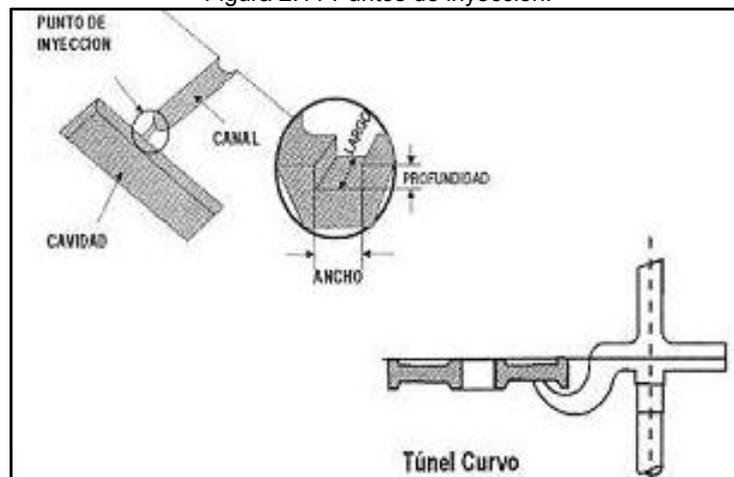
- Directo.
- Submarino.
- Abanico.
- Laminar.
- Anillo.

Figura 2.10 Tipos de puntos de inyección.



Fuente: Gutiérrez y Oñate, 2006

Figura 2.11 Puntos de inyección.



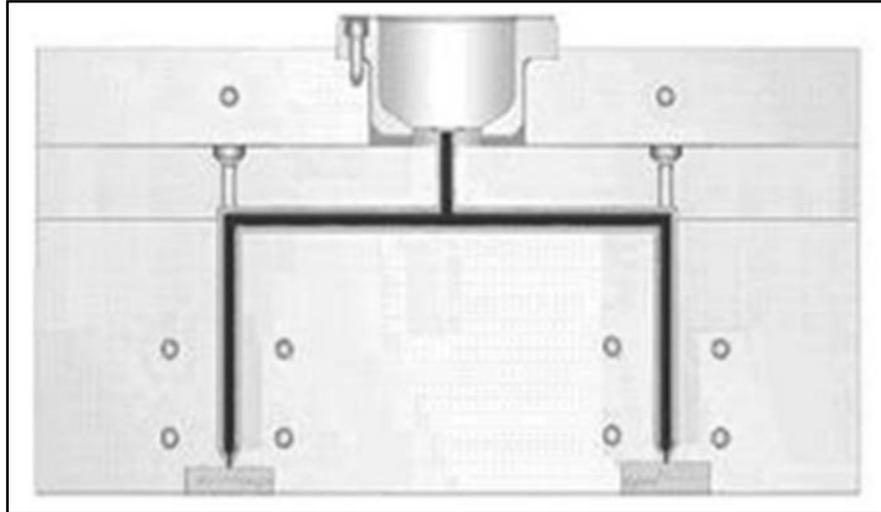
Fuente: Gutiérrez y Oñate, 2006



2.7.1 Fluido de material al inyectar en un molde

El perfil de la velocidad del flujo de un polímero termoplástico fundido, dentro de un molde frío, tiene el siguiente comportamiento, mientras el polímero avanza, forzado por la presión de inyección, una delgada capa de material se solidifica al contacto con la pared del molde y tiende a incrementarse gradualmente como se nota en la próxima figura.

Figura. 2.12 Corte transversal de molde de tres placas que muestra el flujo de material inyectado.



Fuente: Gutiérrez y Oñate, 2006

La vena fluida al centro de la sección fluye prácticamente dentro de una camisa o cubierta de material ya solidificado, por lo tanto, es inútil pulir a espejo los canales de alimentación del molde, eso no facilita el flujo de material fundido.

El perfil de velocidad del flujo de un líquido newtoniano (ejemplo: agua, aceite) dentro de un tubo, también se puede observar en la figura anterior, donde se observa que la velocidad del líquido en contacto directo con la pared es nula (es igual a cero). En la zona vecina a la pared se verifican los máximos esfuerzos viscosos y las mayores diferencias de velocidad entre los estratos contiguos con el flujo en movimiento.

El diseño de los canales de inyección está relacionado con diferentes factores, como el espesor de pared y volumen de la pieza a moldear, distancia entre cavidad y bebedero, enfriamiento de la resina en los canales y material plástico a utilizar. El pulido de los canales debe realizarse sólo para eliminar las huellas del maquinado, sin requerir un acabado espejo.

El flujo de material en la cavidad al inyectar, está directamente vinculado con el número y posición de los puntos de inyección, cuidar que la longitud de las coladas sea la misma, ya que la presión real dentro de la cavidad, temperatura de la masa y velocidad de avance del material decrece cuando se incrementa la distancia desde el punto de inyección, es decir la longitud de flujo.



2.8 SALIDA DE AIRE

La salida de gases es un grupo de desajustes pequeños creados de forma precisa en el molde; están situados principalmente en las terminaciones del llenado de las piezas y permiten que el aire que existe en los huecos de la cavidad a llenar, junto con los gases que se generan en la inyección, tenga huecos en el ajuste para salir. Estas salidas son de tal tamaño (aproximadamente 0.02 mm) que permiten que salgan los gases pero no el plástico viscoso.

A continuación se muestra la Tabla 6 Salidas de aire del molde, la cual indica los valores recomendados para los desajustes.

Tabla 6 Salidas de aire del molde.

Polímero (material)	A (in)	B (in)
ABS	0.002-0.003	0.040
PC	0.001-0.003	0.040
PE	0.001-0.002	0.030
PP	0.001-0.002	0.030
PS	0.001-0.003	0.040

Fuente: Gutiérrez y Oñate, 2006

2.9 SISTEMA DE EXPULSIÓN

El sistema de expulsión tiene como función principal retirar la pieza del molde, mediante un mecanismo que es desarrollado en función del producto a expulsar.

- 1) Número de elementos o pernos expulsores al máximo posible.
- 2) Diámetro de los pernos expulsores lo más grande posible (1 in^2 x cada 80 in^2 contacto pieza-molde).
- 3) Ángulo de desmoldeo (mínimo 0.5 grados para plásticos no reforzados y mínimo 0.75 grados para plásticos reforzados).
- 4) Área de contacto.
- 5) Espesor de pared del producto.
- 6) Pulido o acabado de cavidad y corazón.
- 7) Grado de empacamiento.
- 8) Temperatura del molde.
- 9) Tipo de resina a emplear.
- 10) Vacío al desmoldeo.

2.9.1 Configuración de las varillas expulsoras

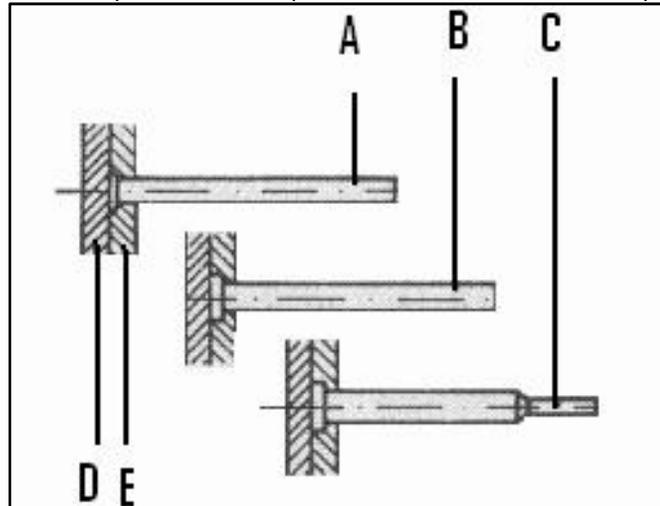
Se utilizan varillas expulsoras (pernos de empuje) nitruradas o templadas, según sea el tipo de uso.

Se fabrican con una tolerancia g6 para la varilla y H6 para el agujero, se recomienda una relación de 2.5 a 8 veces de longitud en relación con el diámetro. La mayoría de pernos están hechos con acero para trabajo en caliente AISI H13 y tratados para obtener una dureza superficial de 70 RC.



El diseño de las varillas varía según la aplicación y se tiene la siguiente clasificación de acuerdo a la figura 2.13:

Figura 2.13 Representación esquemática de varias varillas de expulsión.



Fuente: Gutiérrez y Oñate, 2006

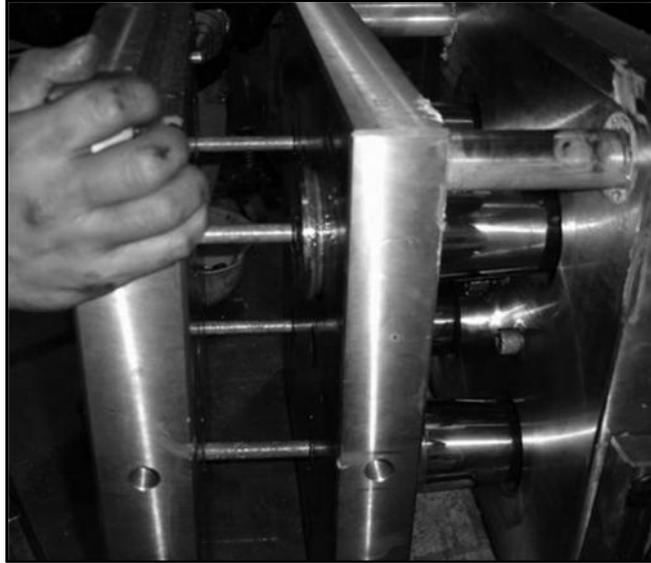
- A. Varillas de cabeza cónica y vástago cilíndrico. Se utilizan cuando no existen exigencias especiales en cuanto a la transmisión de fuerza, se emplean con diámetros de 3 a 16 mm y una longitud de hasta 400 mm.
- B. Varillas de cabeza cilíndrica y vástago cilíndrico. Se usan cuando existen exigencias especiales en cuanto a grandes fuerzas de eyección, se emplean con diámetros de 3 a 16 mm y una longitud de hasta 400 mm.
- C. Varillas de cabeza cilíndrica y espiga en el extremo. Se emplean cuando la superficie de ataque sobre la pieza es muy pequeña y la fuerza necesaria reducida. El vástago con espiga aumenta la resistencia al pandeo. Se emplean con diámetros de 1.5 a 3 mm y una longitud de hasta 200 mm.

Para realizar un buen diseño del sistema de expulsión (figura 2.14) existen varios puntos que deben de ser considerados, los cuales se mencionan a continuación:

- ⊕ Carreras de apertura y de expulsión.
- ⊕ Fuerza de expulsión de la máquina.
- ⊕ Colocación de puntos de expulsión de la pieza.
- ⊕ Tipo de expulsores, diseño, dimensiones y acabados.
- ⊕ Diseño de las placas de expulsión y retención.
- ⊕ Retorno de la placa de expulsión.



Figura 2.14 Sistema de expulsión por medio de 4 pernos botadores.

Fuente: <http://pamplona.olx.es/>

Se debe prestar atención en el diámetro de perno expulsor, ya que si este es demasiado delgado pueden existir problemas de inestabilidad. Para determinar un diámetro adecuado se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$d \geq 0.000836 L \sqrt{P}$$

Donde:

d = diámetro del perno.

L = longitud no guiada del perno.

p = presión de inyección (presión dentro de la cavidad).

Para una aproximación rápida se puede recurrir a la tabla 3.

Tabla 7 Valores comunes de diámetros de varillas en relación con la longitud.

Diámetro de la varilla d (mm)	Longitud de la guía (mm)
1 a 3	Aprox. (8 a 4) d
3 a 5	Aprox. (4 a 3) d
5	Aprox. (3 a 2.5) d

Fuente: Gutiérrez y Oñate, 2006

2.9.2 Sistemas de recuperación o cierre

Al comenzar el cierre del molde el sistema de expulsión de la pieza se recupera en forma amortiguada para evitar choques de placas, secuencia lógica (core pull), seguridad y limpieza. En la figura próxima se distinguen los pernos de retorno, así como los pernos guía.



Figura 2.15 Pernos de retorno y pernos guía del molde.



Fuente: <http://pamplona.olx.es/>

2.10 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

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

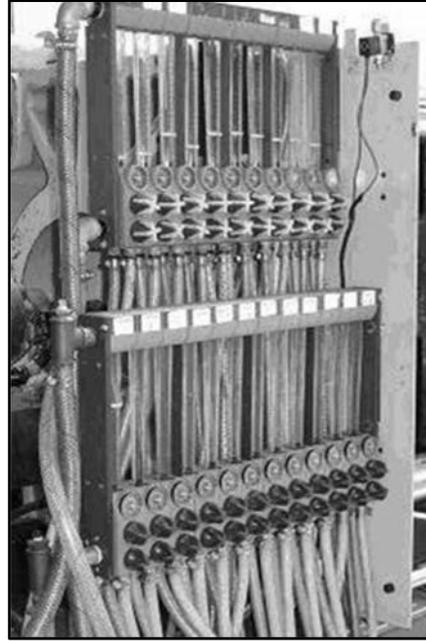
Debido a que el material plástico al momento de ser inyectado al molde se encuentra a una temperatura de 180 a 250 °C dependiendo de la resina utilizada, requiere ser expulsada del mismo en un tiempo relativamente corto del molde.

El molde de inyección está dotado de canales internos que atraviesan las placas, corazones de inyección y cavidades. Para lograr un correcto y eficiente sistema de enfriamiento del molde se dispone de los siguientes tipos de sistemas:

1. Jaula.
2. Cascada.
3. Directo.
4. Circuito.
5. Transferencia.



Figura 2.16 Distribuidor de agua para enfriamiento de molde de inyección.



Fuente: <http://pamplona.olx.es/>

Los principales aspectos a cuidar del sistema de refrigeración son los siguientes:

1. Sección de los canales de refrigeración.
2. Velocidad del medio.
3. Viscosidad el medio, debe ser lo más baja posible.
4. Presión del sistema.
5. Temperatura del medio al llegar al molde.
6. Si se trata de un sistema cerrado o abierto.
7. Materiales a emplear en cavidades y corazones.
8. Favorecer un flujo turbulento.
9. Habilidades en el proceso.
10. Distancias recorridas por el medio refrigerante.
11. Tamaño y ubicación del equipo de enfriamiento.
12. Dimensión de los canales y posición relativa con la pieza producida.

Dentro del proceso de solidificación o congelamiento que ocurre inmediatamente después de haberse inyectado la resina caliente en el molde de inyección intervienen factores que determinan la rapidez con la que se genera un alto o bajo coeficiente de transferencia de calor y que marcan la rapidez con la que puede ser expulsada la pieza del molde y dar paso a un nuevo ciclo de inyección.

Enseguida se mencionan dichos factores:

- Resina utilizada en la fabricación de la pieza a inyectar.
- Materiales utilizados en la fabricación de cavidad y corazón de la pieza a moldear.
- Diseño de canales de enfriamiento en cavidad (es) y corazón (es).
- Medio refrigerante (agua de torre, agua de chiller, aceite).

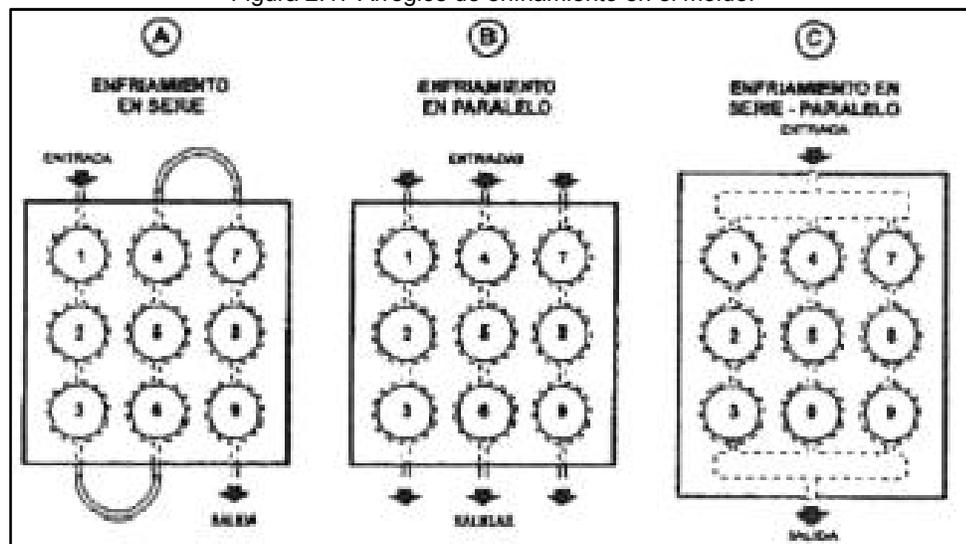


2.10.1 Disposición del sistema de refrigeración

El diseño de los canales de enfriamiento del molde de inyección tanto en cavidades como en corazones de inyección está dirigido a eliminar el calor que adquiere el molde de inyección como resultado del material plástico fundido introducido en el molde durante la etapa de inyección y al mismo tiempo agilizar el enfriamiento del producto moldeado, por lo que este aspecto se vuelve crucial en el buen desempeño del molde. Debido a eso, se deben considerar los doce aspectos citados en el inciso 2.10 de este trabajo.

De acuerdo a esto se debe disponer de un circuito de flujo dentro y fuera del molde que permita un enfriamiento en serie o en paralelo o una mezcla de ambos con la finalidad de mantener un enfriamiento uniforme de las cavidades y corazones del molde en caso de ser de más de 1 cavidad. Observar figura 2.17.

Figura 2.17 Arreglos de enfriamiento en el molde.

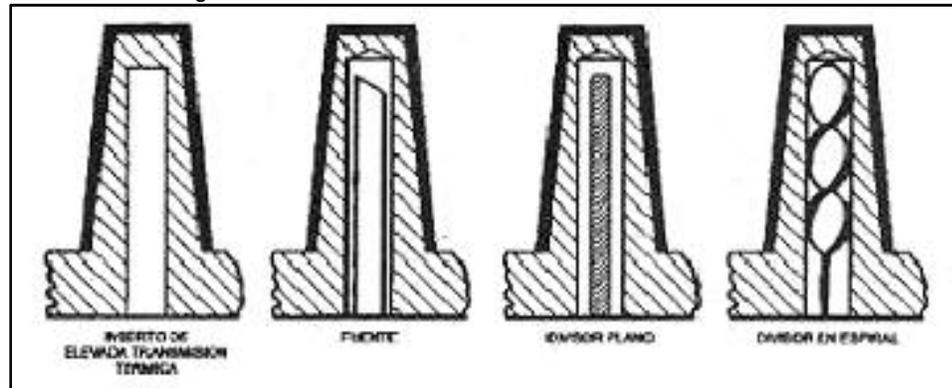


Fuente: Menges y Mohren, 1975

Ahora bien, dentro de los corazones y cavidades existen barrenos por donde el medio refrigerante entra y circula; para captar el calor estos barrenos se encuentran a no más de $\frac{1}{2}$ pulgada de profundidad de la superficie de la pieza y de igual forma cuentan con un arreglo. Hacer que el medio refrigerante forme flujos turbulentos los cuales captan de manera más eficiente el calor acumulado que el flujo laminar, esto no quiere decir que existan diseños de cavidades o corazones en los que por razones de tamaño y espacio no es posible utilizar flujos turbulentos y se recurra a un simple flujo laminar.



Figura 2.18 Sistemas internos de enfriamiento en el molde.



Fuente: Menges y Mohren, 1975

Es importante considerar que una vez determinado el tipo de sistema de enfriamiento y su curso dentro del molde de inyección, se debe proyectar la cantidad de toneladas de refrigeración estándar necesarias para remover el calor generado en el molde.

Tabla 8 Contenido de calor específico total.

Material	Calor específico (BTU/lb)
PA	300-350
PVC	90
PS	160
ABS	140-170
PEBD	250-300
PEAD	300-350
PP	250-300
SAN	120-150

Fuente: Menges y Mohren, 1975



CAPÍTULO III.
MATERIALES DE
CONSTRUCCIÓN Y
TRATAMIENTOS



Para obtener un rendimiento satisfactorio del molde, es esencial seleccionar el acero adecuado, un buen diseño y un correcto tratamiento térmico, además de satisfacer las condiciones impuestas a la pieza acabada y los esfuerzos que tiene que soportar el molde. Teniendo estos factores en cuenta, las propiedades que deben cumplir los aceros son las siguientes:

- **Buena maquinabilidad:** es imprescindible una buena maquinabilidad del material con el que se construya el molde, ya que esto coadyuva a una rápida elaboración, debido a que los plazos de entrega son muy cortos.
- **Buena capacidad para el pulido:** para conseguir acabados superficiales de calidad para piezas con grandes exigencias estéticas.
- **Alta resistencia al desgaste:** existen piezas de plástico que debido a sus especificaciones o al uso que se les dará, son necesarios materiales plásticos combinados con otros elementos tales como el talco, fibra de vidrio, etcétera; ya que este tipo de elementos incrementan de manera significativa las propiedades finales de la pieza inyectada; sin embargo, éstos pueden ser altamente abrasivos para la durabilidad del molde.
- **Alta resistencia a las deformaciones:** existen plásticos que deben inyectarse a temperaturas elevadas, alrededor de los 250 °C. En este caso, se deberán utilizar aceros cuyas características permitan trabajar a estas temperaturas, ya que de no ser así, esto puede ocasionar cambios en la estructura del molde y, como consecuencia, un producto inyectado que no cumpla las especificaciones definidas con anterioridad (dimensiones del producto).

Cuando un producto tiene unas especificaciones muy estrictas, como por ejemplo: buen acabado superficial, dimensiones exactas, elevada velocidad de producción, gran número de piezas, etcétera, los moldes se elaboran exclusivamente por procesos no convencionales de fabricación, por ejemplo: arranque de material con electroerosionadora, pulido manual y componentes prensados en frío. En estos casos se aceptan costos mayores de fabricación del molde en comparación de moldes para productos que no demandan tanta exigencia.

Por otra parte, cuando solamente se desean realizar lotes pequeños de fabricación, los materiales para la fabricación de dichos moldes son de tipo económico, por ejemplo, se fabrican las placas de zamak y, para que presenten mayor resistencia en la máquina de inyección, se les añaden almas de acero que por las características del zamak, éste se deformaría con una determinada presión de inyección, siendo estas almas de acero las que evitarían dicha deformación, y de esta manera incrementar la vida útil del molde.

3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS

Dada la gran variedad de aceros existentes y de fabricantes, ha surgido una gran cantidad de normativa y reglamentación que varía de un país a otro.



Según AISI

La norma AISI (American Iron and Steel Institute) utiliza un esquema general para realizar la especificación de los aceros mediante 4 números:

AISI ZYXX

Además de los números anteriores, las especificaciones AISI pueden incluir un prefijo mediante letras para indicar el proceso de manufactura. Decir que las especificaciones SAE emplean las mismas designaciones numéricas que las AISI, pero eliminando todos los prefijos literales.

El significado de los anteriores campos de numeración es la siguiente:

XX: indica el tanto por ciento (%) en contenido de carbono (C) multiplicado por 100;
Y: indica, para el caso de aceros de aleación simple, el porcentaje aproximado del elemento predominante de aleación;
Z: indica el tipo de acero (o aleación). Los valores que puede adoptar Z son los siguientes:

Z=1: si se trata de aceros al Carbono (corriente u ordinario);
Z=2: si se trata de aceros al Níquel;
Z=3: para aceros al Níquel-Cromo;
Z=4: para aceros al Molibdeno, Cr-Mo, Ni-Mo, Ni-Cr-Mo;
Z=5: para aceros al Cromo;
Z=6: si se trata de aceros al Cromo-Vanadio;
Z=7: si se trata de aceros Al Tungsteno-Cromo;
Z=8: para aceros al Ni-Cr-Mo;
Etc.

Como ya se mencionó, la anterior designación puede incorporar también letras adicionales para indicar lo siguiente:

E: para indicar Fusión en horno eléctrico básico.
H: para indicar Grados de acero con templabilidad garantizada.
C: para indicar Fusión en horno por arco eléctrico básico.
X: para indicar alguna desviación del análisis de norma.
TS: para indicar que se trata de una Norma tentativa.
B: para indicar que se trata de Grados de acero con un probable contenido mayor de 0.0005 % de boro.
LC: para indicar Grados de acero con extra-bajo contenido de carbono (0.03 % máximo).
F: Grados de acero automático.

A continuación se incluyen algunos ejemplos de designación de tipos de aceros según la norma AISI, que incluyen algunas notas aclaratorias:

-

**AISI 1020:**

- 1: para indicar que se trata de un acero corriente u ordinario;
- 0: no aleado;
- 20: para indicar un contenido máximo de carbono (C) del 0.20%.

- AISI C 1020:

La letra C indica que el proceso de fabricación fue SIEMENS-MARTIN-básico. Puede ser B (si es Bessemer-ácido) o E (Horno eléctrico-básico).

- AISI 1045:

- 1: acero corriente u ordinario;
- 0: no aleado;
- 45: 0.45 % en C.

- AISI 3215:

- 3: acero al Níquel-Cromo;
- 2: contenido del 1.6% de Ni, 1.5% de Cr;
- 15: contenido del 0.15% de carbono (C).

- AISI 4140:

- 4: acero aleado (Cr-Mo);
- 1: contenido del 1.1% de Cr, 0.2% de Mo;
- 40: contenido del 0.40% de carbono (C).

A continuación se adjunta una tabla resumen de los distintos tipos de aceros y su contenido aproximado de elementos principales de aleación, según el AISI:

Tabla 9 Algunos tipos de aceros y su composición según el AISI.

10XX – Aceros al carbono
11XX – Aceros al carbono - resulfurizados
12XX – Aceros al carbono - resulfurizados y refosforados
13XX – Manganeso 1.75
23XX – Níquel 3.5
25XX – Níquel 5.0
31XX – Níquel 1.25 y cromo 0.6
33XX – Níquel 3.5 y cromo 1.5
40XX – Molibdeno 0.2 eo 0.25
41XX – Cromo 0.5, 0.8, 0.95 y molibdeno 0.12, 0.20, 0.30
43XX – Níquel 1.83, cromo 0.50, 0.80 y molibdeno 0.25
44XX – Molibdeno 0.53
46XX – Níquel 0.85, 1.83 y molibdeno 0.20, 0.25
47XX – Níquel 1.05, cromo 0.45, molibdeno 0.20, 0.35
48XX – Níquel 3.5 y molibdeno 0.25
50XX – Cromo 0.4
51XX – Cromo 0.8, 0.88, 0.93, 0.95, 1.0
61XX – Cromo 0.6, 0.95 y vanadio 0.13, 0.15
86XX – Níquel 0.55, cromo 0.5, molibdeno 0.20
87XX – Níquel 0.55, cromo 0.5, molibdeno 0.25
88XX – Níquel 0.55, cromo 0.5, molibdeno 0.35
92XX – Silicio 2.0
93XX – Níquel 3.25, cromo 1.2, molibdeno 0.12
98XX – Níquel 1.0, cromo 0.8, molibdeno 0.25

Fuente: Biferno, 1997



No obstante, la composición de los aceros no es exacta, sino que existe un rango de tolerancia aceptable en referencia a los valores indicados en normas o catálogos. Así por ejemplo, las tolerancias en la composición del acero AISI 4140 que se indican anteriormente serían las siguientes:

- C: 0.38-0.43 %
- Mn: 0.75-1.00 %
- Cr: 0.80-1.10 %
- Mo: 0.15-0.25 %
- Si: 0.15-0.35 %
- $P \leq 0.035$ %
- $S \leq 0.040$ %

Por otro lado, la norma AISI especifica a los aceros inoxidable utilizando 3 números:

- Inoxidables martensíticos:

4XX: Base Cr. Medio-alto carbono.

5XX: Base Cr, Mo. Bajo carbono.

Ejemplos: AISI 410, AISI 416, AISI 431, AISI 440, AISI 501, AISI 502, AISI 503, AISI 504.

- Inoxidables ferríticos:

4XX: Base Cr. Bajo carbono.

Ejemplos: AISI 430, AISI 442, AISI 446.

- Inoxidables austeníticos:

3XX: Base Cr, Ni. Bajo carbono.

2XX: Base Cr, Ni, Mn. Bajo carbono.

Ejemplos: AISI 302, AISI 304, AISI 316, AISI 303, AISI 202.

Para los aceros para herramientas, la norma AISI ha formulado códigos específicos según la siguiente tabla:

Tabla 10 Aceros para herramientas de acuerdo al AISI.

Codificación de aceros para herramientas, según AISI		
Grupo	Símbolo	Descripción
Alta velocidad (rápidos)	T	Base Tungsteno (%W: 11.75-19)
Alta velocidad (rápidos)	M	Base Molibdeno (%Mo: 3.25-10.0)
Trabajo en caliente	H	Base Cr, W, Mo
Trabajo en frío	A	Media aleación, temple al aire
Trabajo en frío	D	Alto Cr, alto C (% Cr: 11.5-13.5)
Trabajo en frío	O	Templables al aceite
Resistencia al impacto	S	Medio carbono, al Si
Propósitos específicos	L	Baja aleación, medio-alto carbono
Propósitos específicos	F	Alto carbono, al W
Moldes	P	Baja aleación, bajo carbono
Templables al agua	W	Alto carbono

Fuente: Biferno, 1997



3.1.1 Limitaciones de aceros para moldes

Muchos aceros grado herramienta que se utilizan para los componentes del moldeado también tienen otros usos industriales. Por ejemplo, AISI S7 y H13 que comúnmente se utilizan para la fabricación de moldes de inyección pueden ser utilizados para realizar troquelados y forja. Las características que son importantes para la forja o troquelado son absolutamente diferentes de las características que son importantes para un constructor de moldes para plástico. Por lo tanto, se deben tomar precauciones para asegurarse de que se está utilizando un acero con características adecuadas para un molde. En la Tabla 11 se pueden observar las características que les aportan los elementos aleantes a los aceros utilizados para fabricar herramientas y moldes de inyección.

Tabla 11 Efecto de los elementos aleantes en las propiedades mecánicas de los aceros para herramientas y moldes de inyección.

Propiedades mecánicas	Elementos químicos
Dureza a alta temperatura	W, Co, V, Cr, Mn
Resistencia al desgaste por fricción	V, W, Cr, Mn
Endurecimiento profundo	Mn, Cr, Si, Ni, V
Distorsión mínima en el temple	Cr, Mn
Resistencia al impacto	V, W, Mn, Cr

Nota: el cromo, que influye en todas las propiedades citadas, está sumamente concentrado.

Fuente: Biferno, 1997

- Carbono: elemento básico que acompaña al hierro en el acero. Aumenta la dureza y resistencia, pero disminuye la ductilidad y resiliencia. Al aumentar el carbono aumenta la capacidad de templado y disminuye la soldabilidad.
- Manganeso: favorece la forjabilidad.
- Níquel: mejora la resistencia, tenacidad y ductilidad, favoreciendo al templado.
- Cromo: aumenta la dureza, la resistencia y la elasticidad, favoreciendo la cementación.
- Vanadio: incrementa la forjabilidad y disminuye la capacidad de soldar.
- Molibdeno: facilita el templado y hace al acero resistente a altas temperaturas.
- Cobalto: hace que el acero conserve su dureza a altas temperaturas.
- Aluminio: favorece la nitruración.
- Azufre: promueve el mecanizado pero afecta la resistencia y la tenacidad.
- Fósforo: beneficia la colada en piezas fundidas pero afecta las propiedades mecánicas.

3.1.2 Comparación entre el aluminio y el acero

Los moldes de inyección en acero convencional tienen algunas ventajas obvias en la industria del plástico pero el aluminio demuestra poseer algunas ventajas en la competición, debido a que sus características de peso más bajo, la conductividad térmica y la facilidad de corte al momento de la manufactura, son una oportunidad natural. Los productores de aluminio han respondido con productos adaptados para resolver la diversidad de los desafíos presentados por estos usos.

Se debe de mencionar que aceros tales como P-20, acero herramienta H13 y los aceros inoxidables así como las aleaciones cobre-berilio, se han utilizado en forma muy extendida en la industria de plástico, ya que ofrecen alta resistencia de la



fuerza y al desgaste, y, en combinación o aleación logran buena conductividad térmica. Sin embargo, ningún material tiene todas las características deseadas para un uso dado, y los materiales alternativos no son ninguna excepción.

A continuación se nombran algunas características por las que el aluminio se debe considerar un material importante al momento de desarrollar un molde de inyección:

- **Tiene un aumento cuádruple en conductividad térmica.** En operaciones de moldeo, esto reduce los ciclos ya que reduce al mínimo los puntos calientes locales que podrían producir distorsiones o escurrimientos. El aluminio también permite el diseño de sistemas de enfriamiento más simples, que requieren menos diseño y tiempo al momento de maquinar.
- **Es ligero.** El aluminio tiene la mitad de densidad del acero, con lo que se consigue obtener moldes más ligeros logrando una abertura y cierre más rápido en el molde, dando además, menos desgaste de la prensa de la máquina de inyección. Esta es una de las ventajas más relevantes cuando se diseñan moldes de grandes dimensiones.
- **Puede ser trabajado a máquina y pulido más rápidamente.** Dependiendo de la aleación de aluminio específica, los avances de corte de herramienta son tres a diez veces más rápidas que las del acero. Esto reduce sustancialmente el tiempo requerido para la producción del molde, particularmente para los moldes con cavidades profundas.
- **Alta conductividad eléctrica de los objetos expuestos.** Esto, junto con un punto de fusión más bajo con respecto al acero, permite el uso de trabajar con electrodos para realizar cortes por erosión, de cuatro a cinco veces más arriba que el acero.

Como resultado de estas ventajas el aluminio puede ahorrar 30 % en los costos de la fabricación del molde, ya que reduce en promedio un 40 % el tiempo de fabricación.

Un área en la cual el acero ofrece una clara ventaja sobre el aluminio es la dureza superficial de los componentes; sin embargo, para esos casos donde se requiere una resistencia de desgaste más alta, los tratamientos superficiales del aluminio tales como anodización o la adición de níquel, dan lugar a niveles de dureza superficiales que se acercan a los del acero.

Debido a que existen diversas condiciones bajo las cuales los materiales del molde deben funcionar, se han creado diversas aleaciones de aluminio las cuales tienen características específicas que se han adaptado a las necesidades del uso. Para los usos tales como plástico de baja presión y moldeo compuesto, incluyendo termoformado y el moldeo de transferencia de la resina, que requieren un material con resistencia a la corrosión y soldabilidad excelentes, se



prefieren las aleaciones 5xxx. Similares a 5083-O son las aleaciones tales como Fibralr, Gialtal y Alumold 4-150 y 4-110.

Otros usos tales como moldeado de baja presión del caucho y de otros elastómeros, que implican temperaturas en el rango de 350 °F a 400 °F, hacen necesario un material con moderada fuerza y con buena resistencia a las altas temperaturas. Aquí, los productores de aluminio ofrecen las aleaciones basadas en las series 2xxx, a menudo similares a 2618 o a 2219, que son tradicionalmente las mejores aleaciones de aluminio convencionales con buena resistencia a las altas temperaturas. Este grupo incluye: Weldural, 2219 con la composición de aleaciones 2039, Alumold 3-350 y 3-300 y Alumecc HT.

Otra clase de usos, moldes de inyección los cuales están sometidos a fuerzas de compresión así como collarines y placas de la fuerza que deben tener una manufacturabilidad excelente, un alto nivel de pulido. La familia de la aleación del 7xxx resuelve bien esta necesidad (Certal, 7122, Hokotal, 7050, así como Alumold 1-600, 1-500, 2-450, y 2-400, y Alumecc 79, 89, 99, y Qc-7).

3.2 ACEROS PARA MOLDES DE INYECCIÓN

La experiencia de muchos años y la colaboración entre fabricantes de acero y de moldes, han facilitado el desarrollo de una gran variedad de aceros destinados a la fabricación de moldes. Dependiendo de la función de cada componente dentro del molde, se requerirá de un acero con características diferentes. En la actualidad, los aceros se dividen en cinco grandes grupos, cada grupo posee características diferentes.

1. Aceros de cementación.
2. Aceros bonificados.
3. Aceros resistentes a la corrosión.
4. Aceros de revenido total.
5. Aceros de nitruración.

3.2.1 Aceros de cementación

Los aceros de cementación tienen unas características óptimas para la construcción de moldes. La cementación es el procedimiento más antiguo de saturación de la superficie de los aceros con carbono y se aplica para obtener dureza y resistencia alta al desgaste de la capa superficial, conservando al mismo tiempo el núcleo blando y tenaz. Al existir esto se consigue mayor resistencia a esfuerzos de flexión bruscos. Otra característica que hace que sean aceros ideales para la fabricación de moldes, es que tienen una gran capacidad para el pulido y el mecanizado. Los resultados de la cementación dependen de los factores siguientes:

- + Composición del acero.
- + Composición del medio carburante (carburizador).
- + Régimen de cementación (temperatura de calentamiento y tiempo de permanencia).
- + Carácter del tratamiento térmico después de la cementación.



Las piezas a carburar son de acero con bajo contenido de carbono, entre ellos se encuentran los siguientes: aceros al carbono 10, 15, 20, 25, y aceros aleados tales como 15X, 20X y otros. Es posible conseguir propiedades adicionales mediante tratamientos térmicos como el temple y el revenido que harían que el acero fuera más duro y resistente.

El tratamiento térmico para obtener un acero cementado consiste en calentar el acero en un medio que aporte carbono, manteniendo una temperatura entre 800 y 900 °C y enfriándolo a continuación con agua o aceite. La cantidad de carbono no puede ser superior al 0.2% en el núcleo, con menos contenido de carbono, es más tenaz y blando. Dependiendo de la temperatura y de la duración de ésta, la capa de acero cementada puede ser de entre 0.6 y 2 mm.

3.2.2 Aceros bonificados

Aceros bonificados: éstos sirven para fabricar construcciones ligeras de alta solidez, las piezas se someten al tratamiento térmico en forma de temple y alto revenido (bonificación) o al temple superficial por medio del calentamiento con corrientes de alta frecuencia. Los aceros que se aplican, en este caso, contienen de 0.30 % a 0.65 % de carbono. También tienen buenas características para su mecanizado mediante arranque de ferrita; sin embargo, no todo son ventajas, tiene poca resistencia a la abrasión y una deficiente calidad de la superficie del molde, que habitualmente hace necesario un tratamiento superficial como cromado o nitrurado. Algunos ejemplos de aceros bonificados son el 2311 y 2312, en diámetros superiores a 400mm tenemos el acero 2738 que tiene el 1 % de níquel y que retarda la aparición de perlita que es el causante de la pérdida de resistencia desde el exterior al interior de los bloques de acero.

3.2.3 Aceros resistentes a la corrosión

Los plásticos no son considerados materiales agresivos, pero existen unos cuantos que en su elaboración sí que lo son, como por ejemplo el PVC, poliuretanos, poliacetálicos, etc. Estos plásticos liberan ácido clorhídrico o ácido acético entre otros durante su transformación al ser calentados. En estos casos, el molde se protege con un revestimiento galvánico, con capas de cromo o níquel. En el caso del cromado, también se consigue un acabado brillante superficial y propiedades que hacen que la pieza inyectada no se quede adherida. Las capas de cromo que suelen aplicarse son de 0.2 mm de espesor, uniforme por toda la superficie; si esa uniformidad no se consiguiese, pueden producirse tensiones en la capa protectora que podrían provocar resquebrajamientos indeseados por acción de determinados esfuerzos.

Cuando no es posible conseguir una capa uniforme de cromo por contornos complicados, se suele utilizar aceros con bajo contenido de carbono de hasta un 1.2 %. Como consecuencia del alto contenido de cromo, estos moldes no se pueden trabajar a más de 400 °C, ya que, superada esta temperatura el acero puede sufrir corrosión cristalina interna.

Este tipo de acero es utilizado en moldes que tienen instalados sistemas de refrigeración por los cuales circula agua. Utilizar este tipo de acero en la construcción



de moldes tiene ventajas a largo plazo, ya que el costo de mantenimiento del molde es mínimo y, gracias a sus propiedades de mecanizado, los costos de producción del mismo son reducidos.

3.2.4 Aceros de templado total

En los aceros con un templado total, lo que se desea es aumentar la dureza de forma significativa. Esto se consigue calentando el acero a una temperatura elevada y enfriándolo rápidamente con aceite, agua o aire. De esta manera, se permite la formación de martensita, incrementando la dureza. Dependiendo de la dureza deseada, se utiliza un agente refrigerador diferente, siendo el agua la que proporciona un enfriamiento más rápido, con lo cual, la dureza obtenida depende de la velocidad de enfriamiento. Otros factores que influyen en la velocidad de enfriamiento son: la conductividad térmica, el volumen de la pieza de acero y la aleación que tenga dicho acero. El Ni, Mn, Cr, Si y otros elementos reducen la velocidad crítica y permiten un endurecimiento completo de secciones grandes.

Los moldes fabricados con este tipo de acero tienen gran resistencia a la abrasión como consecuencia de su elevada dureza, pero también son más sensibles a la formación de grietas y a la deformación, comparados con los aceros de cementación o bonificación, esto es debido a que tienen una menor tenacidad. Por esta razón, los aceros de templado total únicamente se utilizan para moldes pequeños o medianos.

Los aceros de revenido total tienen un tratamiento térmico a baja temperatura, utilizado para reducir la dureza de la martensita, al permitir que ésta empiece a descomponerse en las fases de equilibrio.

3.2.5 Aceros nitrurados

El objetivo de la nitruración es incrementar la dureza, resistencia al desgaste y resistencia a la corrosión de la capa superficial de las piezas, saturándolas con nitrógeno.

Principalmente los aceros cuya aleación tenga aditivos que formen nitruros pueden ser nitrurados. Estos aditivos de aleación son el cromo, el aluminio, el vanadio y el molibdeno. Los aceros que se quieren nitrurar, se someten a un recocido en un baño salino de características especiales, que varía según se aplique un nitrurado o un ionitrurado; se produce una difusión de nitrógeno en la superficie del molde y los aditivos de la aleación forman nitruros, que forman una capa nitrurada de una dureza de 665 a 1235 HB, según el tipo de acero y el procedimiento utilizado. Al contrario de otros tratamientos, la dureza máxima se consigue en el interior de la capa nitrurada. Por este motivo, es necesario realizar un pulido de la superficie después del nitrurado. En contraparte, si aplicamos un ionitrurado no es necesario realizar ningún trabajo posterior. El espesor de la capa de nitruración depende del tiempo de duración de la operación. Normalmente con una capa de 0.3 mm de nitrurado ya es suficiente para moldes de inyección, que se consigue con una duración de la nitruración de 30 horas.

Las ventajas de estos aceros es que se obtienen moldes sin tensiones, de gran tenacidad, con una elevada dureza superficial y una resistencia a la corrosión



mejorada. Además, este tratamiento no produce deformaciones en el molde durante el proceso de nitrurado.

3.3 TRATAMIENTOS TÉRMICOS

El objetivo de los tratamientos térmicos es mejorar o modificar las propiedades del metal y aleaciones mediante alteraciones en su estructura, con el fin de que gracias a las nuevas propiedades se pueda realizar con garantías los trabajos para los que han sido destinados. A pesar de que la mayoría de metales admiten tratamientos térmicos, las aleaciones de tipo férrico son las mejores para aplicar los tratamientos.

Los tratamientos térmicos consisten en calentar el acero a una temperatura determinada, mantenerlo a esa temperatura durante un cierto tiempo hasta que se forma la estructura deseada y entonces se enfría a la velocidad conveniente. Los factores temperatura-tiempo dependen del material, tamaño y forma de la pieza. De esta manera se conseguirá una modificación microscópica, transformaciones de tipo físico, cambios de composición o una determinada estructura interna; propiedades que permitirán alguno de los objetivos buscados como: aumentar la dureza, efectuar un mejor mecanizado, eliminar tensiones internas, evitar deformaciones, etcétera. Los tratamientos térmicos que pueden aplicarse al acero sin cambiar su composición química son:

1. Temple: su finalidad es incrementar la dureza y la resistencia del acero. Para ello, se calienta el acero a una temperatura entre 900 y 950 °C y se enfría posteriormente más o menos rápido en un medio como agua, aceite, etcétera.
2. Revenido: sólo se aplica a aceros previamente templados, para disminuir ligeramente los efectos del temple, conservando parte de la dureza y aumentar la tenacidad. El revenido aminora la dureza y resistencia de los aceros templados, elimina las tensiones creadas en el temple y mejora la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada. Se distingue básicamente del temple en cuanto a temperatura máxima y velocidad de enfriamiento.
3. Recocido: consiste básicamente en un calentamiento a una temperatura de 800-925 °C seguido de un enfriamiento lento. Con este tratamiento se logra aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza. También facilita el mecanizado de las piezas al homogeneizar la estructura, afinar el grano y ablandar el material, eliminando la acritud que produce el trabajo en frío y las tensiones internas.
4. Normalizado: tiene por objeto dejar un material en estado normal, es decir, ausencia de tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono. Se suele emplear como tratamiento previo al temple y al revenido.



3.4 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Debido a la facilidad que tiene el acero para oxidarse cuando entra en contacto con la atmósfera o con el agua, es necesario y conveniente proteger la superficie de los componentes de acero para protegerlos de la oxidación y de la corrosión.

Los tratamientos superficiales más usados son los siguientes:

- **Zincado**: tratamiento superficial antioxidante por proceso electrolítico o mecánico al que se somete a diferentes componentes metálicos.
- **Cromado**: recubrimiento superficial para proteger de la oxidación y embellecer.
- **Galvanizado**: tratamiento superficial que se da a la chapa de acero.
- **Niquelado**: baño de níquel con el que se protege un metal de la oxidación.
- **Pavonado**: tratamiento superficial que se da a piezas pequeñas de acero, como los tornillos.
- **Pintura**: usado especialmente en estructuras, automóviles, barcos, Etc.; aunque también es verdad que algunos moldes son pintados exteriormente para protegerlos de la oxidación.

3.5 TRATAMIENTOS TERMOQUÍMICOS

Los tratamientos termoquímicos son tratamientos térmicos en los que, además de los cambios en la estructura del acero, también se producen cambios en la composición química de la capa superficial, añadiendo diferentes productos químicos hasta una profundidad determinada. Estos tratamientos requieren el uso de calentamiento y enfriamiento controlados en atmósferas especiales. Entre los objetivos más comunes de estos tratamientos están: aumentar la dureza superficial de las piezas (dejando el núcleo más blando y tenaz), disminuir el rozamiento (aumentando el poder lubricante), incrementar la resistencia al desgaste, elevar la resistencia a la fatiga o aumentar la resistencia a la corrosión.

- **Cementación (C)**: eleva la dureza superficial de una pieza de acero dulce, aumentando la concentración de carbono en la superficie. Se consigue teniendo en cuenta el medio o atmósfera que envuelve al metal durante el calentamiento y enfriamiento. El tratamiento logra aumentar el contenido de carbono de la zona periférica, obteniéndose después, por medio de temple y revenidos, una gran dureza superficial, resistencia al desgaste y buena tenacidad en el núcleo.
- **Nitruración (N)**: al igual que la cementación, aumenta la dureza superficial, aunque lo hace en mayor medida, incorporando nitrógeno en la composición de la superficie de la pieza. Se logra calentando el acero a temperaturas comprendidas entre 400 y 525 °C, dentro de una corriente de gas amoníaco, más nitrógeno.



- **Cianuración (C+N):** endurecimiento superficial de pequeñas piezas de acero. Se utilizan baños con cianuro, carbonato y cianato sódico. Se aplican temperaturas entre 760 y 950 °C.
- **Carbonitruración (C+N):** al igual que la cianuración, introduce carbono y nitrógeno en una capa superficial, pero con hidrocarburos como metano, etano o propano; amoníaco (NH₃) y monóxido de carbono (CO). En el proceso se requieren temperaturas de 650 a 850 °C y es necesario realizar un temple y un revenido posterior.
- **Sulfunización (S+N+C):** aumenta la resistencia al desgaste por acción del azufre. El azufre se incorpora al metal por calentamiento a baja temperatura (565 °C) en un baño de sales.

3.6 ELECCIÓN DE LOS MATERIALES Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA EL MOLDE

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, un factor importante en la fabricación de moldes es saber seleccionar el acero para un buen funcionamiento y rendimiento del mismo. Por esa razón se debe analizar qué función tendrá cada pieza del molde y qué propiedades se le tienen que exigir al acero para que pueda cumplir su función de la mejor manera.

Molde prefabricado: para este caso, se puede elegir de cuatro tipos de aceros diferentes.

El acero 1141 es un acero de alta maquinabilidad que se suele utilizar cuando se quiere reducir el tiempo de mecanizado. La adición de azufre ocasiona algún sacrificio en las propiedades de soldabilidad, forja y conformación en frío. También es un acero de alto manganeso que ofrece mayor templabilidad.

El acero 1730 es un acero no aleado que resulta muy atractivo económicamente, ya que el material es de menores prestaciones. Es fácil de mecanizar y tiene una gran tenacidad, se suministra con una dureza baja de 190 HB, aunque puede aumentarse con un tratamiento térmico posterior al mecanizado. Este tipo de acero es el más utilizado en la construcción de moldes; sin embargo, es fácil de mecanizar.

El acero 2344 es un acero templado con elevada dureza (50-52 HRC). Es un acero con alta resistencia al desgaste y a la compresión en caliente. También tiene buena conductividad térmica y buena estabilidad dimensional al templado. Realizando un revestimiento galvánico, (como por ejemplo, un niquelado) este acero puede soportar la inyección de materiales químicamente agresivos y plásticos abrasivos.

El acero que se elegirá es el 1730, ya que nuestro molde no tiene que soportar ni presiones ni esfuerzos grandes, además de que es un acero económico y de buena calidad. Debido a que se suministra a una dureza baja, después del mecanizado, se le hará un temple y revenido únicamente a las placas de las figuras.



- Correderas

Debido a que las correderas son las partes del molde que más sufren, hay que hacerlas con un acero de calidad y con una elevada dureza. Para las correderas se ha escogido el acero 2344. Como ya se ha comentado, este acero está templado y tiene una gran dureza, además de tener alta resistencia al desgaste y a la compresión en caliente.

Una vez mecanizadas todas las correderas, se les realizará un tratamiento termoquímico de nitrurado para elevar su dureza y resistencia al desgaste.

- Noyo

El noyo no tiene que soportar grandes esfuerzos, así que se elegirá el mismo acero que para el molde, el acero 1730. Una vez mecanizado se le realizará un temple y revenido para darle más dureza.

- Guías correderas

Las guías de las correderas soportan mucha presión hacia los lados. Como ya se ha explicado en apartados anteriores saber elegir el acero para cada parte del molde es muy importante y en este caso aún lo es más; ya que las guías de las correderas son las piezas más delicadas del molde. Se deben fabricar de un acero que sea capaz de soportar la presión y las torsiones a las que son sometidas. Por esta razón, las guías se comprarán fabricadas con un acero especial, el 7242, y solamente se tendrán que ajustar a las medidas deseadas.

- Otros

Las guías del molde y los casquillos vienen normalizados y están fabricados con acero 7264. Igualmente los expulsores vienen normalizados y fabricados con acero 2344 y nitrurados, que sólo hay que ajustar a las medidas deseadas. El disco centrador viene fabricado con acero 1730, ya que no tiene que soportar ningún tipo de fuerza ni compresión, mientras el bebedero que tiene que soportar fuerzas de compresión viene fabricado con acero 7242. Finalmente, todos los tornillos Allen vienen normalizados DIN 912.



CAPÍTULO IV.

TIPOS DE PLÁSTICOS



En el proceso de formación de un ingeniero mecánico, es muy importante el conocimiento de la Ciencia de los Materiales, ya que ésta proporciona las herramientas necesarias para comprender el comportamiento general de cualquier material, lo cual es necesario a la hora de desarrollar adecuadamente diseños de componentes, sistemas y procesos que sean confiables y económicos.

Las ventajas de los plásticos son bien conocidas: son seguros, lo que los convierte en materiales adecuados para envases y embalajes de todo tipo; son ligeros, lo que permite ahorros sustanciales de energía en su producción y en el transporte de mercancías envasadas; son versátiles, es decir, hay un plástico para cada aplicación (mirar la figura 4.1), desde la técnica aeroespacial más sofisticada, pasando por aplicaciones en automoción, industria eléctrica, electrónica, construcción y agricultura, hasta la medicina y el envasado. Son resistentes y duraderos, lo que, lejos de ser un inconveniente, es una gran ventaja para perfiles, tuberías, parachoques o contenedores; finalmente, los plásticos son reciclables y pueden ser utilizados de nuevo mediante una gran variedad de métodos (reciclado mecánico, químico o recuperación energética, entre otros).

Figura 4.1 Diversas aplicaciones de los polímeros.



Fuentes: <http://espanol.lubrizol.com/> y <http://www.poltec.com.uy/>

4.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Los polímeros son moléculas orgánicas gigantes en cadena con pesos moleculares desde 10 000 hasta 1 000 000 g/mol. Todos los polímeros tienen una estructura tridimensional compleja, que es difícil de describir gráficamente.

La American Society for Testing Materials (ASTM) define como plástico a cualquier material de un extenso y variado grupo que contiene como elemento esencial una sustancia orgánica de gran peso molecular, siendo sólida en su fase final; ha tenido o puede haber tenido en alguna etapa de su manufactura (fundido, cilindrado, prensado, estirado, moldeado, etc.) diferentes formas de fluir, mediante la aplicación, junta o separada, de presión o calor.



Los plásticos se caracterizan por una relación resistencia/densidad alta, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes, tienen baja conductividad eléctrica y térmica, y no son adecuados para utilizarse a temperaturas elevadas.

Los plásticos son producidos mediante un proceso conocido como polimerización, ya sea por adición, por condensación, o por etapas, es decir, creando grandes estructuras moleculares a partir de moléculas orgánicas. Las enormes moléculas de las que están compuestos pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico.

4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS

Según a su estructura y comportamiento al calor, los polímeros se clasifican en:

- I. Termoplásticos.
- II. Termoestables o termofijos.
- III. Elastómeros.

4.2.1 Polímeros termoplásticos

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.

Los termoplásticos representan del 70 al 80 % del consumo total de los plásticos y se caracterizan porque son resinas con una estructura lineal, que durante el moldeo en caliente no sufren modificación química y quedan blandos y conformables. Sus cadenas poliméricas son independientes entre sí; es decir, no existen uniones químicas fuertes entre ellas, por lo que, su estructura es como un entrecruzamiento caprichoso de cadenas.

Los termoplásticos, al calentarse, permiten que las cadenas se deslicen y resbalen unas sobre otras adquiriendo el denominado estado viscoelástico, permitiendo que puedan ser moldeados a presión. Su propiedad fundamental es que existe una temperatura, llamada de transición vítrea, por encima de la cual las cadenas adquieren la suficiente energía como para deslizarse unas sobre otras, de tal forma que el polímero se deforma. Dentro de este grupo podemos distinguir entre termoplásticos amorfos y semicristalinos.

4.2.1.1 Propiedades y aplicaciones

Los polímeros termoplásticos son materiales ligeros, resistentes a la corrosión de baja resistencia y rigidez, y no son adecuados para usarse 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 éstas se alarguen elásticamente. Al eliminar el esfuerzo se recuperan de esta distorsión prácticamente de manera instantánea. Además, se pueden distorsionar segmentos completos de cadenas de polímeros; al eliminar el esfuerzo, los segmentos vuelven a su posición original sólo 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 y 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, está relacionada con el tiempo y la velocidad de deformación. Si el esfuerzo se aplica lentamente, las cadenas se deslizan fácilmente una al lado de otra; por otra parte, 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 temperaturas bajas o velocidades de carga bajas, el polímero se comporta como cualquier otro material sólido (como un metal o un cerámico). En la región elástica el esfuerzo y la deformación están directamente relacionados; sin embargo, a temperaturas elevadas o a velocidades de carga reducidas, el material se comporta como un líquido viscoso. Este comportamiento viscoelástico ayuda a explicar por qué el polímero se deforma bajo carga y también permite conformarlo, convirtiéndolo en productos útiles. La viscosidad del polímero describe la facilidad con 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 las cadenas se deslizan lentamente una al lado de la otra. Esta condición describe la termofluencia del polímero y ocurre en algunos polímeros, incluso a temperaturas ambiente. La velocidad de termofluencia se incrementa ante esfuerzos y temperaturas elevadas (reduciendo la viscosidad).



Impacto

El comportamiento viscoelástico también ayuda a comprender las propiedades al impacto de los polímeros. A velocidades muy altas de deformación, como en una prueba de impacto, no existe 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 temperaturas bajas -en un ensayo de 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 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 ingeridos 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 de manera frágil, de forma muy similar a los vidrios cerámicos; sin embargo, por encima de la temperatura de transición vítrea fallan en forma dúctil, con evidente deformación extensa e incluso estiramiento antes de la falla.

Propiedades ópticas

Desde el punto de vista de su uso, las propiedades ópticas más importantes 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 dispuestos 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 el envase no es suficientemente impermeable al oxígeno) y también de líquidos que deben mantener disueltos una 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 más generalizada de su empleo como envases.

Estabilidad a las altas temperaturas y comportamiento en el fuego

Una limitación del uso de los materiales plásticos convencionales se debe principalmente a la pérdida 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 cadenas moleculares 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 el 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 humo y gases tóxicos como el CO, el 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, las bases y los oxidantes, por la otra. Los disolventes perjudican la consistencia del material, produciendo un hinchamiento (que corresponde a una solvatación) o a la misma disolución. 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 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.



Polietileno (PE)

Características generales

Se representa por la fórmula empírica $(CH_2)_n$, consistiendo en un 85.7 % de C y 14.3 % de H, obtenido por polimerización aditiva del etileno. Este termoplástico es de cadena ramificada, con la posibilidad de contener grupos químicos derivados del catalizador usado en su proceso de fabricación, lo que influye de forma importante en sus propiedades. Un producto comercial normal tiene una distribución amplia de pesos moleculares, aunque el número de enlaces dobles y la frecuencia de las ramificaciones se pueden considerar independientes del peso molecular de la fracción considerada. La presencia de la ramificación implica cierta cristalinidad en fase sólida. Esto significa que su fusión no se producirá a una temperatura dada, sino que el material, al ir incrementando la temperatura, cambiará gradualmente su fase hasta fundirse y convertirse en un líquido amorfo. El grado de cristalinidad está directamente relacionado con la proporción de ramificación presente; éste influye directamente en propiedades como la dureza y los puntos de reblandecimiento y de cedencia a la tracción. Por el contrario, las propias resistencias a la tracción y al choque y la flexibilidad a baja temperatura, dependen en gran medida del peso molecular medio.

Propiedades

El polietileno de alto peso molecular o de alta densidad (HDPE), es un sólido blanco y translúcido, que en secciones delgadas es casi transparente. A temperaturas normales es tenaz, flexible y fácil de rayar. Al incrementar la temperatura se hace más blando, hasta fundir a 110 °C. Por el contrario, al decrecer la temperatura se hace más duro hasta fragilizarse. Una propiedad que debe considerarse, sobre todo durante los procesos de fabricación (extrusión, moldeo o vaciado) es la viscosidad, la cual depende del peso molecular medio y de la temperatura. Así, un aumento del 10 % en el peso molecular dobla la viscosidad, mientras que un incremento de 25 °C, la reduce a la mitad.

Figura 4.2 Símbolos de los principales tipos de polietileno.



Fuente: <https://sites.google.com/>

Durante la extrusión y el moldeo, si el líquido se enfría rápidamente, las cadenas del polímero pueden quedar orientadas y de una longitud media. Este fenómeno se produce con más frecuencia en los polietilenos de alta densidad, y tiende a desaparecer si se eleva la temperatura. Es importante mencionar que, algunas de las propiedades físicas y mecánicas del polietileno son dependientes del peso molecular medio; por ejemplo: resistencias a la tracción y al choque, el alargamiento en la ruptura y la flexibilidad a bajas temperaturas.



Por otra parte, la historia térmica del material sí influye en todas sus propiedades. Una velocidad alta de enfriamiento da lugar a sólidos menos densos y con menor cristalinidad, por lo que el material es más blando y flexible, aunque con mayor presencia de tensiones internas. Si el enfriamiento es más lento, aumentan la cristalinidad y la dureza (con menores tensiones internas), aunque es más frágil.

El polietileno es, en general, poco soluble, sobre todo si la temperatura es inferior a 60 °C; su peso molecular es muy bajo y presenta poca ramificación. Esta característica se hace menos importante al aumentar el peso molecular, el grado de cristalinidad y disminuir la ramificación. En cuanto a la permeabilidad, es elevada para vapores orgánicos y al oxígeno, y escasa para el vapor de agua. En cualquier caso, la permeabilidad aumenta con la temperatura. En cuanto a sus propiedades eléctricas, destaca por su baja conductividad eléctrica y su baja permitividad eléctrica, siendo elevada su resistencia eléctrica. En lo que respecta a sus propiedades químicas, es uno de los polímeros más estables e inertes, siempre y cuando no haya presencia de oxígeno, en cuyo caso se produce degradación autocatalítica a temperaturas en torno a 50 °C. Si además existe luz, la degradación puede presentarse a temperatura ambiente; para eludirlo se suele introducir en su composición un 2 % de negro de humo bien dispersado.

Usos

Dada su buena resistencia química, no poseer olor, no ser tóxico, su poca permeabilidad al vapor de agua, ser aislante eléctrico y su poco peso molecular, tiene un amplio campo de aplicación (ver la figura 4.3):

- ☞ Aislante de cables: se utilizaron habitualmente como protectores de cables submarinos por su baja permitividad eléctrica y su resistencia elevada al agua. Actualmente se usan como envolturas generales exteriores de cables.
- ☞ Envases y tuberías: los envases de polietileno se usan tanto para contener sustancias corrosivas como para aplicaciones más generales para usuarios domésticos. En cuanto a los tubos, tienen una aplicación especial en conducciones enterradas o para instalaciones de calor radiante, aunque considerando la posibilidad de degradación por encima de los 50 °C.
- ☞ Películas: es uno de los usos que más cantidad de polietileno consume, obteniéndose espesores entre 0.025 y 0.250 mm. Se usan como envolturas para alimentos –incluso refrigerados– o para la fabricación de bolsas. Se suelen utilizar también como capas protectoras de equipos y piezas de máquinas contra la humedad.
- ☞ Revestimiento de papel, filamentos textiles, etcétera.

Figura 4.3 Productos fabricados de polietileno.



Fuente: <http://materialesdeingenieria3.blogspot.mx/>



Cloruro de Polivinilo (PVC)

Características generales

Este polímero de fórmula general $(\text{CHCl-CH}_2)_n$ se puede obtener a partir del petróleo o del gas natural (47 %) junto con NaCl (57 %). Dadas sus propiedades, su uso está muy generalizado en construcción, energía, salud, conservación de alimentos y artículos cotidianos. En su forma habitual se presenta como un polvo blanco, amorfo y opaco. Es inodoro, insípido y resistente a la mayoría de los agentes químicos; es ligero y no inflamable; no se degrada ni se disuelve en agua y se puede reciclar de forma completa. Su símbolo está representado en la figura 4.4.

Figura 4.4 Símbolo del Cloruro de Polivinilo.



Fuente: <https://sites.google.com/>

Entre sus propiedades se pueden mencionar:

- ☞ Resistencia y poco peso: es notablemente resistente a la abrasión y al impacto, lo que lo convierte en un material muy utilizable en la edificación.
- ☞ Versatilidad: con la adición de estabilizantes y plastificantes puede obtenerse un material rígido o flexible, adaptable al uso que se precise.
- ☞ Estabilidad: es además inerte, por lo que, se presenta muy adecuado para fabricar material sanitario.
- ☞ Durabilidad: su vida en servicio se puede extender a más de 60 años.
- ☞ Inflamabilidad: la presencia de cloro hace que no arda si se retira la fuente de calor, por lo que es especialmente útil en el aislamiento de piezas eléctricas y como aislante ignífugo.
- ☞ Reciclabilidad: con ello se puede minimizar la generación de residuos.

Usos

- ☞ Construcción: tuberías de conducción de agua potable y agua residual, puertas, ventanas, persianas, zócalos, suelos, láminas impermeabilizadoras y canalización eléctrica y de telecomunicación.
- ☞ Embalajes: botellas, frascos y láminas.
- ☞ Mobiliario: de jardín, placas divisorias y piezas para muebles.
- ☞ Electricidad-electrónica: como aislante y recubrimiento de cables, gracias a sus propiedades eléctricas: durabilidad, facilidad de procesamiento y resistencia a ambientes agresivos.
- ☞ Sanidad: tubos y bolsas, catéteres, válvulas y vestimenta.
- ☞ Industria automotriz: tapicería, paneles, apoyabrazos y como protección frente a la corrosión y a las vibraciones.
- ☞ Varios: calzado, ropa impermeable, juguetes y tarjetas bancarias.



Figura 4.5 Aplicaciones del Cloruro de Polivinilo.



Fuente: <http://materialesdeingenieria3.blogspot.mx/>

Es importante señalar que en el proceso de fabricación de este polímero se utiliza dicloroetano, una sustancia muy peligrosa debido a que es una sustancia cancerígena, altamente inflamable, explosiva (emitiendo fosgeno y cloruro de hidrógeno) y desprende cloruro de vinilo (gas extremadamente tóxico).

Polipropileno (PP)

Características generales

Es un termoplástico semicristalino, de fórmula general $(\text{CH}_3\text{-CH-CH}_2)_n$, obtenido por la polimerización del propileno en presencia de un catalizador estéreo-específico. Se caracteriza por ser inerte, totalmente reciclable; con una tecnología de fabricación de muy poco impacto ambiental. Es uno de los polímeros de mayor crecimiento en uso, gracias a su versatilidad, sus propiedades físicas y su competitivo proceso de fabricación. Su símbolo está mostrado en la figura 4.6.

Figura 4.6 Símbolo del Polipropileno.



Fuente: <https://sites.google.com/>

Entre sus propiedades destacan:

- ☞ Su baja densidad.
- ☞ Dureza alta.
- ☞ Resistencias a la abrasión y rigidez elevadas.
- ☞ Buena resistencia al calor.
- ☞ Excelente resistencia química.

En el proceso de fabricación de este polímero, tiene gran importancia el catalizador utilizado, pues es el que controlará la posición de los grupos CH_3 a lo largo de la cadena lineal del polímero, controlando así su grado de cristalinidad y por ende, sus propiedades.



Como en otros tipos de polímeros, la construcción de cadenas de polipropileno lleva aparejada una dispersión de pesos moleculares, que condiciona las propiedades mecánicas del producto final. Una forma de controlar esa dispersión es actuando sobre las condiciones de operación y del tipo de catalizador empleado. Nuevamente, la viscosidad juega un papel muy importante en las condiciones de procesamiento de este polímero. Normalmente se controla la viscosidad midiendo el índice de fluidez, de tal manera que cuanto mayor sea éste, la viscosidad será menor. A su vez, el índice de fluidez es inversamente proporcional al peso molecular del polímero. Debido al carácter lineal de este polímero, suele adquirir un estado semicristalino, lo que le confiere sus excepcionales propiedades mecánicas como dureza y resistencia a la tracción elevadas. Dentro de los tipos de polipropilenos sobresalen:

- ✦ Homopolímeros: formados exclusivamente por monómeros de propileno, con buenas propiedades mecánicas para fabricar piezas de baja densidad, punto de fusión alto y temperaturas de servicio elevadas.
- ✦ Copolímeros al azar: suelen contener además de propileno, una pequeña cantidad de etileno, que se sitúa en posiciones aleatorias de la cadena principal. Con ello se mejoran la transparencia y la resistencia al impacto, aunque disminuye el punto de fusión.
- ✦ Copolímeros en bloque: al homopolímero se le añade posteriormente un copolímero, mejorando notablemente su resistencia al impacto (de ahí su uso, por ejemplo, en parachoques, maletas y contenedores).
- ✦ Cauchos de etileno-propileno (EPR): son copolímeros con un elevado contenido de etileno, por lo que tienen muy baja cristalinidad, comportándose como un elastómero.
- ✦ Copolímeros especiales: se agregan comonómeros muy específicos (buteno, octeno, etc.) para obtener productos de aplicaciones muy concretas.

Usos

Debido a la posibilidad de controlar la longitud de la cadena polimérica y de la presencia de copolímeros, los usos del polipropileno son muy variados. Entre ellos se encuentran los siguientes:

- ⊕ Envases de pared delgada: se obtienen mediante moldeo por inyección o por soplado, y se obtienen espesores menores de 0.8 mm. Con ello se consiguen piezas de pequeño peso, además de aumentar la productividad. Es importante controlar la relación entre la longitud del flujo de inyección y el espesor requerido, para no tener dificultades en el relleno del molde.
- ⊕ Películas: se emplean preferentemente en la fabricación de embalajes, mediante extrusión.
- ⊕ Fibras: se emplean en la industria textil.
- ⊕ Industria automotriz: se usan en los habitáculos interiores, para lograr estabilidad dimensional en compartimentos del motor, resistencia a los agentes climatológicos y fácilmente decorables.
- ⊕ Cargas en materiales compuestos: para conseguir mayor estabilidad termooxidativa y de otras propiedades físicas como la transparencia, rigidez y aspecto visual.



Figura 4.7 Artículos elaborados de Polipropileno.



Fuente: <http://materialesdeingenieria3.blogspot.mx/>

Poliestireno (PS)

Características generales

Este polímero, de fórmula general $(C_6H_5-CH-CH_2)_n$ es, en estado puro, un sólido incoloro, rígido, frágil y con muy poca flexibilidad. A esta variedad se le conoce como poliestireno cristal o de uso general.

Una variedad del poliestireno, es el poliestireno expandido (EPS), obtenido añadiendo un 5 % de gas, que reduce la densidad del material al quedar en su interior en forma de burbujas. Su principal uso es como aislante en la construcción y para la protección de mercancías.

En general, el poliestireno (figura 4.8) es un plástico económico, pero con poca resistencia a la temperatura y resistencia mecánica modesta. Además, dado su carácter quebradizo es necesario utilizar copolímeros derivados del caucho. Con ello se consigue el llamado poliestireno de alto impacto (HIPS). Si se utiliza acrilonitrilo como copolímero y polibutadieno como endurecedor, se obtiene el poliestireno ABS.

Figura 4.8 Símbolo del Poliestireno.



Fuente: <https://sites.google.com/>

De forma general presenta las propiedades citadas enseguida:

- ☞ Elasticidad.
- ☞ Resistencia química moderada.
- ☞ Resistencias mecánica, térmica y eléctrica buenas.
- ☞ Baja densidad.

Usos

- ⊕ Empaques y espumas aislantes.



- ⊕ Paneles de iluminación.
- ⊕ Copolímeros resistentes al calor y al impacto.
- ⊕ Piezas ópticas.
- ⊕ Juguetes.
- ⊕ Componentes de aparatos.

Figura 4.9 Usos del Poliestireno.



Fuente: <http://materialesdeingenieria3.blogspot.mx/>

Otros

El poliacrilonitrilo (PAN) es empleado para fabricar fibras textiles, precursor para fibras de cartón y recipientes de alimento.

El polimetilmetacrilato (PMMA o acrílico plexiglás) se utiliza para la fabricación de ventanas, parabrisas, recubrimientos, lentes de contacto rígidos y espectaculares.

El policlorotrifluoroetileno se emplea para fabricar componentes para válvulas, juntas, tuberías y aislamiento eléctrico.

El politetrafluoroetileno (más conocido como el teflón), es utilizado 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 (POM o acetal) se emplea para fabricar accesorios de plomería, plumas, engranes y aspas de ventilador.

La poliamida (PA), mejor conocida como nylon, es utilizada en la fabricación de cojinetes, engranajes, fibras, cuerdas, componentes de automotores y componentes eléctricos.

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

Figura 4.10 Símbolo destinado para el resto de polímeros termoplásticos.



Fuente: Fuente: <https://sites.google.com/>



4.2.2 Polímeros termoestables o termofijos

Los polímeros termoestables, son aquellos que solamente son blandos o "plásticos" al calentarlos por primera vez. Después de enfriados no pueden recuperarse para transformaciones posteriores. Es un material compacto y duro, su fusión no es posible (la temperatura lo afecta muy poco), insoluble para la mayoría de los solventes, encuentran su aplicación en entornos de mucho calor, pues no se ablandan y se carbonizan a altas temperaturas.

Según su componente principal y características algunas de las clasificaciones de los polímeros termoestables son:

- Resinas fenólicas.
- Resinas de poliéster.
- Resinas ureicas.
- Resinas epóxicas.
- Poliuretano.
- Resinas de melamina.

Los fenólicos son empleados para fabricar adhesivos y recubrimientos laminados.

El poliéster es usado para fabricar 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 Fe_2O_3 sobre la superficie de una cinta poliéster.

Los uretanos se emplean para elaborar fibras, recubrimientos y espumas.

Los epóxicos se utilizan para fabricar adhesivos, moldes eléctricos y matrices para materiales compuestos.

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

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

La sulfona de poliéter (PES) se emplea para producir componentes eléctricos, cafeteras, secadores eléctricos y componentes de hornos de microondas.

El sulfuro de polifenileno (PPS) se usa para fabricar recubrimientos, componentes para manejo de fluidos, componentes electrónicos y componentes para secadores de cabello.

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

La poliimida se utiliza en la fabricación de adhesivos, tableros de circuitos y fibras para transbordadores espaciales.



4.2.3 Elastómeros

Los elastómeros son compuestos químicos cuyas moléculas consisten en varios miles de monómeros, que están unidos formando grandes cadenas, las cuales son altamente flexibles, desordenadas y entrelazadas.

Cuando son estirados, las moléculas son llevadas a una alineación y con frecuencia toman una distribución muy ordenada (cristalina), pero cuando se las deja de tensionar retornan espontáneamente a su desorden natural, un estado en que las moléculas están enredadas.

Entre los polímeros que son elastómeros se encuentran el poliisopreno o caucho natural, el polibutadieno y el poliisobutileno.

4.2.4 Valores de las contracciones de los termoplásticos

Termoplásticos amorfos: en este tipo de polímeros, la unión de las macromoléculas se produce por enlaces intermoleculares, donde las macromoléculas se posicionan de forma desordenada o entrelazada.

⊕ Propiedades de los polímeros termoplásticos con estructura amorfa

Tabla 12 Contracciones de polímeros termoplásticos amorfos.

Termoplásticos con estructura amorfa	Simbología ISO	Intervalo de fusión (°C)	Contracción en moldeo (%)
ABS Copolímero	ABS	170-200	0.4-0.7
Poliestireno	PS	130-160	0.3-0.6
Poliestireno de Alto Impacto	HIPS	130-160	0.3-0.6
Acrlonitrilo Estireno	SAN	140-170	0.4-0.6
Acetato de Celulosa	CA	130-170	0.3-0.7
Acetato Butirato de Celulosa	CAB	130-170	0.3-0.7
Policarbonato	PC	220-260	0.5-0.8
Polimetilmetacrilato	PMMA	150-180	0.4-0.8
Óxido de polifenileno (modificado)	PPO	240-270	0.5-0.8
Cloruro de polivinilo (rígido)	PVC	130-160	0.4-0.8
Popionato de celulosa	CP	130-170	0.3-0.7

Fuente: Ramos y Ruiz, 1988

Termoplásticos semicristalinos: en éstos, las macromoléculas tienen zonas donde se alinean, se pliegan sobre sí mismas, formando pequeños cristales dentro de la matriz amorfa.

Sus ventajas principales frente a los materiales amorfos son: su resistencia mecánica alta y especialmente a la fatiga; son más rígidos y más resistentes a la tracción y poseen mayor resistencia a la fluencia y al calor.

Como propiedades negativas, tienen una mayor viscosidad y mayor punto de fusión; poseen una mayor contracción y tendencia al alabeo y son menos flexibles y resistentes al impacto. Dentro de este grupo destacan el PE (polietileno), el PP (polipropileno), la PA (poliamida) y el POM (polioximetileno).



⊕ Propiedades de los polímeros termoplásticos con estructura semicristalina

Tabla 13 Contracciones de polímeros termoplásticos semicristalinos.

Termoplásticos con estructura cristalina	Simbología ISO	Temperatura de fusión (°C)	Contracción en moldeo (%)
Poliétileno de Baja Densidad	LDPE	110	1-3
Poliétileno de Alta Densidad	HDPE	130	1.5-4
Polipropileno	PP	166	1-2.5
Poliamida 66	PA 66	255	1.2-2.5
Poliamida 6	PA 6	220	0.8-2
Poliamida 610	PA 610	220	1.5-3.5
Polioximetileno o Poliacetal (homopolímero)	POM	175	1.5-3.5
Poliacetal (copolímero)	POM	165	1.2-2.8
Polibutileno Tereftalato	PBTP	225	1.2-2
Poliétileno Tereftalato	PETP	255	0.5-5
Fluoroetileno Propileno (copolímero)	FEP	270	3.5-5
Etileno Tetrafluoruro Etileno (copolímero)	ETFE	270	

Fuente: Ramos y Ruiz, 1988

4.3 PRUEBA DE IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS

De acuerdo a la gran cantidad de materiales que existen y que son utilizados en el proceso de inyección, así como también, el haber identificado que los materiales plásticos son reciclables en su gran mayoría, surge el problema de identificar qué tipo de material es. Esto se presenta cuando se adquiere un material que no es virgen para fabricar el producto y se desea conocer de qué polímero se trata. Como consecuencia se ha desarrollado una prueba para identificar qué tipo de material es, por medio del olor y el color que presenta al incinerar una porción de material. Dicho experimento se detalla en el inciso 4.3.1 de este trabajo.

4.3.1 Pirólisis (prueba a la flama)

La pirólisis es la descomposición química de materia orgánica causada por el calentamiento en ausencia de oxígeno u otros reactivos.

Es importante mencionar que los polímeros termoplásticos son los únicos que se pueden reciclar, esto permite calentarlos para así reutilizarlos dándoles una forma diferente.

Por otro lado los termoestables o termofijos no se pueden reciclar debido a que se endurecen al ser expuestos a altas temperaturas.

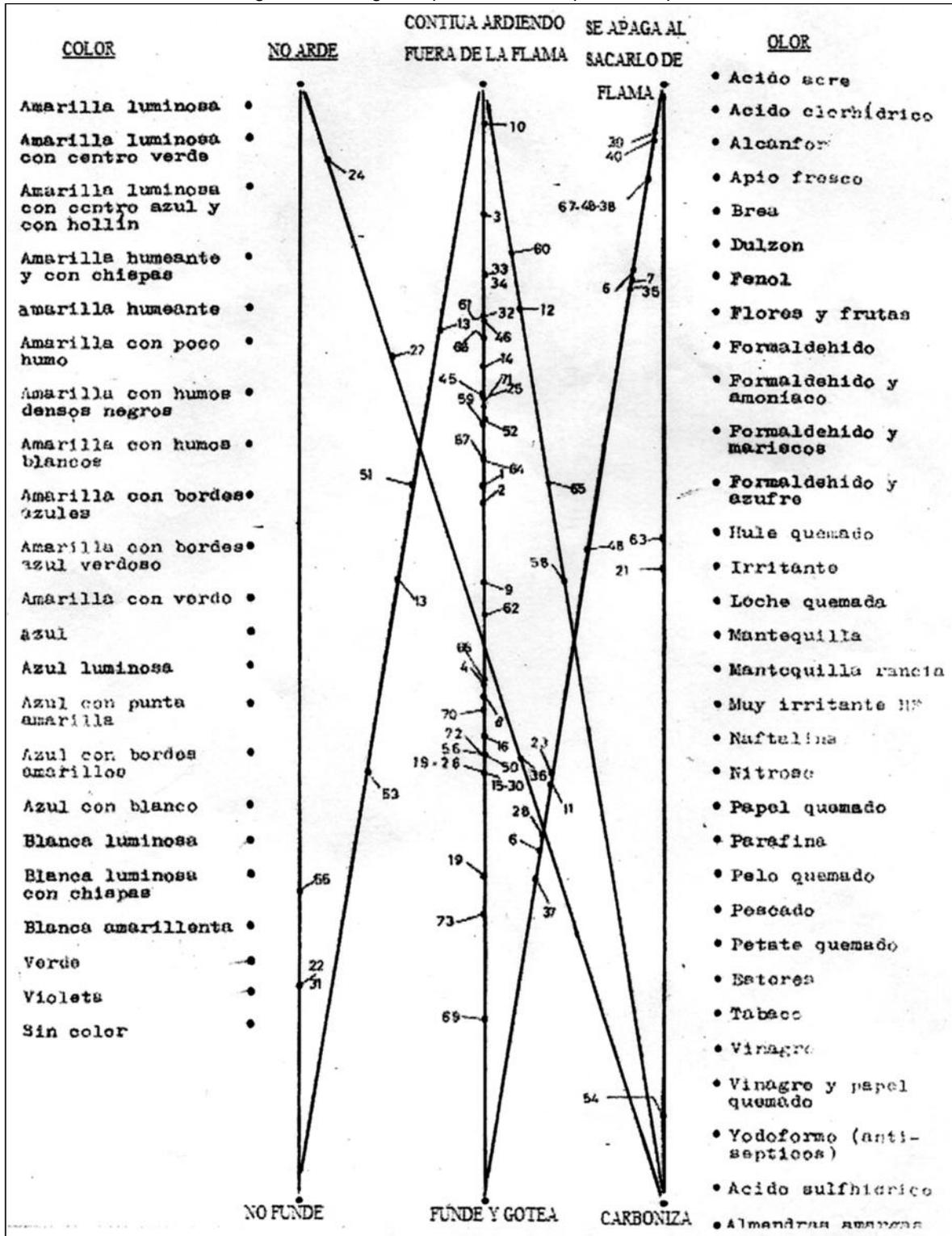
El procedimiento para efectuar la prueba de pirólisis es el siguiente:

- Paso 1. Introducir una muestra de plástico al borde de la flama del mechero de Bunsen.
- Paso 2. Observar el color de la flama que imparte la muestra.
- Paso 3. Ver si funde la muestra o no.
- Paso 4. Retirar de la flama la muestra y notar si continúa ardiendo o no.



- Paso 5. Percibir con cuidado el olor que desprende el plástico al apagarlo.
- Paso 6. Con el diagrama que a continuación aparece, se determina a qué número se aproxima el polímero de la muestra.

Figura 4.11 Diagrama para efectuar la prueba de pirólisis.





Para identificarlo, primero se sitúa en la columna del color de flama que es la del lado izquierdo y se busca el color que se distinguió. Después se identifica el olor desprendido en la columna del flanco derecho y por último se traza una línea que cruce la gráfica partiendo del color y terminando en el olor por los puntos anteriormente identificados. Ahora que se tiene la línea trazada, se toman otros dos criterios que pueden ser: no funde, funde y gotea o carboniza y, no arde, continúa ardiendo fuera de la llama o se apaga al sacarlo de la llama. Finalmente, la intersección de la línea con estos criterios indicará el número de polímero.

- Paso 7. Una vez identificado el número de plástico, se debe buscar en la tabla de abajo (Tabla 14), a qué tipo de polímero corresponde.

Tabla 14 Lista de polímeros que pueden determinarse mediante la pirólisis.

1. Acetal (poliformaldehído)	37. Cloruro de Polivinilo (sin plastificante)
2. Poliacrilatos	38. Cloruro de Polivinilo (con plastificante)
3. Acrilonitrilo Butadieno Estireno	39. Dicloruro de Polivinilo
4. Alquidales	40. Fluoruro de Polivinilo
5. Polialilios	41. Cloruro de Vinilideno
6. Poliamidas	42. Fluoruro de Vinilideno
7. Policarbonatos	43. Elastómero de Acrilato
8. Acetato de Celulosa	44. Hule Acrilonitrilo Butadieno
9. Acetato Butirato de Celulosa	45. Hule Butilo
10. Nitrato de Celulosa	46. Polietileno Clorosulfonado
11. Poliéter Clorado (oxietano)	47. Cloropreno o neopreno
12. Epoxy	48. Hule de Etileno-Propileno
13. Poliéster	49. Óxido de propileno
14. Etil Celulosa	50. Hule de silicón
15. Polietileno	51. Hule de Estireno Butadieno
16. Copolímero de Etileno y Etil Acrilato	52. Polisulfuros o tiokoles
17. Polietileno Tereftalato	53. Elastómeros de Poliuretano
18. Copolímero de Etileno y Acetato de Vinilo (Elvax)	54. Caseína formaldehído
19. Copolímero de Etileno y Propileno Fluorado	55. Propionato de Celulosa.
20. Monocloro-trifluoro Etileno	56. Metilcelulosa
21. Tetrafluoroetileno	57. Celofán
22. Poliimidias	58. Resinas de cumarona indeno
23. Melamina formaldehído	59. Resinas naturales
24. Polimetacrilato de Metilo	60. Copolímero Isobutileno Isopreno
25. Poli-4-etil penteno-1	61. Clorhidrato de Caucho
26. Fenol formaldehído	62. Caucho Clorado
27. Resinas fenólicas	63. Hule natural
28. Óxido de Fenileno	64. Hule vulcanizado
29. Polipropileno	65. Acetato de Polivinilo
30. Silicones	66. Cloruro Acetato de Vinilo
31. Poliestireno	67. Alcohol Polivinílico
32. Estireno Acrilonitrilo	68. Polivinil Acetal
33. Estireno Butadieno	69. PolivinilButiral
34. Polisulfonas	70. Polivinilsobutil Éter
35. Urea formaldehído	71. Polivinilo Pirrolidona
36. Poliuretano	72. Resinas Ionómeras (surllyn)



Los datos obtenidos están sintetizados en la tabla 15. Como se ocuparon muestras ya identificadas por el código de plásticos y resinas solamente se confirmó el tipo de polímero utilizado.

Tabla 15 Datos resumidos del ensayo de pirólisis.

Tipo de material							
	PET/PETE	HDPE/PEAD	PVC	LDPE/PEBD	PP	PS	Otros
Color	Naranja brillante	Azul	Naranja	Naranja	Naranja brillante	Naranja	Amarillo
Funde	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Funde y gotea	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Goteo intenso
Humo	Negro	Blanco	Negro	Blanco	Negro	Negro	Blanco
Continúa ardiendo	Muy poco	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Olor	Dulce, fenol	Parafina	Naftalina	Yodoformo	Almendras	Apio fresco	Irritante
No funde	No	No	Sí	No	No	No	No
Carboniza	No	No	Sí	No	No	No	No



CONCLUSIONES

Este trabajo favorecerá de manera directa a todas las personas que laboran en un taller de inyección de plástico, así como a aquellas que dependen de este tipo de microempresas.

La aportación tecnológica de este trabajo es la fabricación de astas para banderas con recursos económicos limitados. Esto se logró al disponer de un molde que no cumplía con normas nacionales ni internacionales; es decir, es un molde de los denominados, hechizos.

La utilidad de esta tesis se deriva del rediseño y una primera aproximación de la producción y del impacto del producto en el mercado para que en un futuro, si alguna persona lo desea, tome como referencia dicho trabajo para la solución de sus necesidades particulares, considerando los materiales descritos en esta tesis para la selección de los componentes que contendrá el molde de inyección.

Como ingenieros mecánicos desarrollamos e implantamos sistemas productivos que nos llevan a la mejora continua y a la solución de la problemática que normalmente tienen las microempresas.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Biferno S.A.
MATERIALES PARA MOLDES Y MATRICES DE LA INDUSTRIA PLÁSTICA
Editorial E. Fiorentino, 1997
2. Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica
OPERACIÓN DE MÁQUINAS DE INYECCIÓN
México, 2010
3. Menges, G. y Mohren, G.
MOLDES PARA INYECCIÓN DE PLÁSTICOS
Editorial Gustavo Gili, 1975
4. Harper, Charles A.
MANUAL DE LOS PLÁSTICOS VOLUMEN I
Editorial Mc Graw-Hill, Estados Unidos de América, 2000
5. Harper, Charles A.
MANUAL DE LOS PLÁSTICOS VOLUMEN II
Editorial Mc Graw-Hill, Estados Unidos de América, 2000
6. Ostwalt, Philip F.
PROCESOS DE MANUFACTURA
Editorial CECSA, España, 1981
7. Ramos Carpio, M. y Ruiz, M. De María
INGENIERÍA DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS
Editorial Díaz de Santos, 1988
8. Sors, L., Bardocs y L., Radnóti, I.
MOLDES Y MATRICES
Editorial Hemus, Brasil, 2002
9. Maya Ortega, Enrique
DISEÑO DE MOLDES DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO CON INGENIERÍA CONCURRENTE
Tesis de Posgrado - Instituto Politécnico Nacional
DF, México, 2007
10. Gutiérrez García, Daniel y Oñate Longoni, Cristian Alberto
SISTEMA DE INYECCIÓN CON COLADA CALIENTE APLICADO EN LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO COMO HERRAMIENTA DE COMPETITIVIDAD
Tesis de Licenciatura - Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Pachuca de Soto, Hidalgo, México, 2006



MESOGRAFÍA

1. <http://www.interempresas.net/Plastico/>
2. <http://cncmoldes.com/moldes-de-inyeccion.html>
3. <http://www.mailxmail.com/curso-inyeccion-termoplasticos>
4. <http://www.ambienteplastico.com>
5. http://www.apta.com.es/prontuario/Capitulo_8.htm
6. <http://osonaacers.com/intro.htm>
7. http://selector.ascamm.org/materials_library_folder/steel_transformation.2005-01-04
8. http://www.tdr.cesca.es/tesis_upc/available/tdx-1020104-093259//03Japb03de06.pdf
9. http://docencia.udea.edu.co/ingenieria/moldes_inyeccion/unidad_2/maquina.html
10. <http://www.buscabiografias.com/bios/biografia/verDetalle/1842/Charles%20Goodyear>
11. <http://www.directindustry.es/prod/watlow/>
12. <http://negribossi.blogspot.mx/2012/12/husillos-barrera.html>
13. http://www.ingenieriaplastica.com/novedades_ip/instituciones/cipres_historia.html
14. <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/search/label/Inyecci%C3%B3n>
15. <http://es.wikipedia.org/wiki/http://spanish.plasticsextrusionmachinery.com/>
16. <http://protoplasticos.blogspot.mx/>
17. http://ctmplasmaticus.blogspot.mx/2011_11_01_archive.html



APÉNDICE



Asta bandera dibujada en 3D

