



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLAN

**“PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN,
APLICACIÓN DE POLIETILENO Y
PET(POLIETILENTEREFTALATO) COMO MATERIA
PRIMA”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO
QUIMICO**

PRESENTA: JOSE AURELIO SALDAÑA MEZA

ASESOR: I.Q. ARIEL BAUTISTA SALGADO

Cuautitlan Izcalli

2006



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLAN

**“PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN,
APLICACIÓN DE POLIETILENO Y
PET(POLIETILENTEREFTALATO) COMO MATERIA
PRIMA”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO
QUIMICO**

PRESENTA: JOSE AURELIO SALDAÑA MEZA

ASESOR: I.Q. ARIEL BAUTISTA SALGADO

Cuautitlan Izcalli

2006

AGRADECIMIENTOS

Son tantas las personas a las que tengo que agradecer, que de antemano pido una disculpa si llegara a faltar alguien

Antes que nada agradezco a dios por la maravillosa familia que medio.

A mi padre: al cual dedico este trabajo de tesis, ya que para mi y para mucha gentes es una de las personas que mas saben sobre el moldeo de inyección, y por que gracias a el soy lo que soy, porque gracias a el y a tantos y tantos esfuerzos termine esta etapa de mi vida, por que siempre será un ejemplo a seguir, porque sabe una cosa, algún día quiero ser como usted, que dios lo bendiga.

A mi madre: por todas las desveladas que paso junto a mi, por todo el apoyo que me dio en momentos difíciles, por todo el amor que me da, por todos los sacrificios que tuvo que realizar con tal de que tuviéramos lo que necesitamos, por esto y un sinfín de cosas mas, muchísimas gracias mama, te amo

A mi hermana Cruz: por que siempre te comportantes como el “hermano” mayor que nunca tuve, por que eres tan sensible, por saber escuchar y por todas las veces que me ayudaste a resolver un problema, por que siempre estuviste cuando lo necesite, por que me diste la alegría de ser tío, gracias cruz

A mi hermana Liliana: por ser tan fuerte, por que siempre que quise tirar la toalla hay estabas apoyándome y dándome ánimos de la forma en que solo tu puedes hacerlo, gracias por todas las satisfacciones que me diste cuando te graduaste, por todas las veces que levantaste a la familia entera, gracias por que siempre serás “mi hermanita.”

A mi sobrino Alexis: por que aunque no lo creas he aprendido muchas cosas de tu inocencia y de tus tantas y tantas travesuras.

A mi abuelita: que aunque ya no estés aquí físicamente este logro también es tuyo, gracias donde quiera que estés “abue”

A mis tíos: porque siempre fueron y serán alguien con quien puedo apoyarme

A mis amigos: Oskar, Daniel, Miguel, Alejandro, Luis, Alicia Jorge, Beto, Miguel Agustín, Adriana, por el apoyo brindado

A mi esposa Nayeli: por que me aguantaste toda la carrera, por que académicamente me apoyaste mucho, por compartir tu vida conmigo, por todos los momentos felices que me has dado, por compartir los mismos ideales, por tantas cosas gracias Naye

Te amo

E A O
M X

A mí hijo orlando: por alegrar cada momento de mi vida, por darle sentido a cada paso que doy, porque con una sonrisa cambias mi mundo, porque gracias a ti soy un hombre excesivamente feliz

Y por el hecho de estar conmigo me impulsas a seguir adelante

Al profesor Ariel bautista: por aceptar ser mi asesor, por ser un buen amigo, por ser uno de los mejores maestros de la universidad, porque con sus sugerencias pude concluir este trabajo, muchas gracias profesor.

A todos mis asesores: que con sus consejos se logro realizar este trabajo

GRACIAS

PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN. APLICACIÓN DE POLIETILENO Y
PET(POLIETILENTEREFTALATO) COMO MATERIA PRIMA.

	PAGINA
ÍNDICE:	
ALCANCE	4
INTRODUCCIÓN.	6
1. CONCEPTOS BÁSICOS.	7
2. PRINCIPIOS DEL MOLDEO POR INYECCIÓN.	12
3. PROPIEDADES DE LOS PLÁSTICOS A CONSIDERAR DURANTEEL MOLDEO POR INYECCIÓN.	15
3.1 DENSIDAD.	15
3.2 CONTRACCIÓNAL MOLDEO.	15
3.3 ÍNDICEDE FLUIDEZ.	16
3.4 RESISTENCIAA LA COMPRESIÓN	16
3.5 VISCOSIDAD.	16
3.6 ELONGACIÓN.	18
3.7 TEMPERATURAVICAP.	18
3.8 CONSTANTE DIELECTRICA.	19
4. POLIETILENO.	20
4.1 TIPOS DE POLIETILENO.	21
4.2 POLIETILENOS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA DEL MOLDEO POR INYECCIÓN.	23
4.3 PARAMETROS DE TEMPERATURA PARA SU PROCESAMIENTO.	25
4.4 PROBLEMAS MÁS COMUNES EN LA INYECCIÓN DEL POLIETILENO.	27
5. POLIETILENTEREFTALATO (PET)	32
5.1 VISCOSIDAD INTRÍNSECA.	36
5.2 GENERACIÓNDE ACETALDEHÍDO.	36
5.3 TRANSPARENCIADE LA PREFORMA	39
5.4 SECADO.	40
5.5 ABSORCIÓNDE HUMEDAD.	42
5.6 ELPET EN LA FABRICACIÓN DE PREFORMAS.	43
5.7 PROBLEMAS MÁS COMUNES EN LA INYECCIÓN DE PREFORMAS.	46
6. ADITIVOS.	52
7. FACTORESQUE INFLUYEN EN EL MOLDEO POR INYECCIÓN.	55
7.1 PRESIÓN DE INYECCIÓN.	55
7.2 PRESIÓN DE SOSTENIMIENTO.	55

7.3	VELOCIDAD DE INYECCIÓN.	56
7.4	TEMPERATURA.	56
7.5	DESCOMPRESIÓN.	57
7.6	TIEMPO DE ENFRIAMIENTO.	57
7.7	DOSIS.	58
7.8	FUERZA DE CIERRE.	58
7.9	"COLCHÓN"	60
7.10	VELOCIDAD DEL HUSILLO.	60
7.11	CONTRAPRESIÓN.	60
7.12	TIEMPO DE INYECCIÓN.	60
7.13	TIEMPOS COMPLEMENTARIOS.	61
7.14	CICLO DE INYECCIÓN	62
	7.14.1 DURACIÓN DEL CICLO DE INYECCIÓN.	62
8.	LA MAQUINA DE INYECCIÓN.	65
8.1	UNIDAD DE INYECCIÓN.	65
8.2	TOLVA.	67
8.3	CAÑÓN.	68
8.4	HUSILLO.	69
8.5	BOQUILLA.	72
8.6	VÁLVULA ANTIRETORNO.	74
8.7	UNIDAD DE CIERRE.	75
8.8	PLATINA, FIJA Y MÓVIL.	76
8.9	SISTEMAS DE CIERRE.	77
	8.9.1 SISTEMA DE RODILLERAS.	77
	8.9.2 SISTEMA DE PISTÓN.	78
8.10	ALTURA DE MOLDE.	78
8.11	INTERFASE HOMBRE-MAQUINA.	79
8.12	DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD.	80
9.	EL MOLDE "PARTE FUNDAMENTAL EN EL PROCESO"	82
9.1	ELEMENTOS DEL MOLDE.	83
9.2	FUNCIONES BÁSICAS DE LOS COMPONENTES DEL MOLDE.	84
9.3	MOLDE DE COLADA FRIA.	87
9.4	MOLDE DE COLADA CALIENTE.	87
9.5	UNIFORMIDAD DE TEMPERATURA.	88
10.	SERVICIOS AUXILIARES EN EL PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN.	92
10.1	SISTEMA DE TRASPORTE.	92
10.2	EQUIPOS DE MEZCLADO Y DOSIFICACIÓN.	94
10.3	EQUIPOS DE SECADO.	95
	10.3.1 HORNOS.	95
	10.3.2 SECADORES.	95
	10.3.3 DESHUMIDIFICADORES.	97

10.4 EQUIPOS Y MEDIO DE ENFRIAMIENTO.	98
10.4.1 AGUA DE ENFRIAMIENTO.	98
10.4.2 TORRES DE ENFRIAMIENTO.	98
10.4.3 ENFRIADOR (CHILLERS).	100
10.5 MOLINOS.	101
10.6 ROBOTS.	101
10.7 SEPARADOR DE METALES.	102
APENDICE (PROPIEDADES DE LOS POLIMEROS).	
(A) ABSORCIÓN DE AGUA.	103
(B) RESISTENCIA A LA TENSIÓN.	103
(C) RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.	104
(D) RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD.	104
(E) DUREZA ROCKWELL.	104
(F) CONDUCTIVIDAD TERMICA.	104
(G) INFLAMABILIDAD.	105
(H) RESISTENCIA VOLUMETRICA.	105
(I) RESISTENCIA AL ARCO	105
BIBLIOGRAFÍA.	106

ALCANCE

El presente trabajo tiene como objetivo dar conocer el proceso de moldeo por inyección de termoplásticos, que en este caso en particular son el Polietileno y el PET (polietilentereftalato), ya que estos dos termoplásticos presentan una demanda muy grande en el mercado mexicano; el primero ocupando los primeros lugares en las listas de producción de artículos y el segundo con un asombroso crecimiento para la fabricación de botellas.

Considerando que hoy en día el proceso de moldeo por inyección de termoplásticos presenta un amplio campo de trabajo y con un crecimiento constante tanto en tecnología de maquinaria como en optimización de proceso, es importante que la gente involucrada conozca algunos fundamentos teóricos y algunos datos técnicos de cómo optimizar el proceso, por lo que el presente trabajo tiene como objetivo técnico que sirva como consulta para poder solucionar algunas de las fallas mas frecuentes que se encuentran en este proceso. Así mismo presenta información de los servicios auxiliares utilizados en este proceso y de cómo poder optimizarlos.

Lo anterior se pretende alcanzar con el contenido de este trabajo cuyos puntos importantes se describirán brevemente.

Conceptos básicos: se mostrarán los conceptos teóricos del moldeo por inyección desde cómo están ordenadas las moléculas de los plásticos hasta los principales tipos de procesos para la manufactura de los mismos.

Propiedades : una explicación de las diferentes propiedades que definitivamente se ven mas afectadas durante el proceso de moldeo por inyección, ya que sabiendo cómo se comporta el material, el operador tiene armas para poder controlar de una manera mejor y uniforme el proceso, con lo que proporcionaría una mejor calidad al producto final.

Polietileno: un punto importante en este trabajo es el conocimiento y el buen manejo del polietileno, ya que independientemente de que sea uno de los termoplásticos mas demandados en el mercado, es un material el cual deja muy buenas ganancias en su manufactura. Por lo cual se conocerá cuales son los tipos de polietilenos que existen en el mercado y al mismo tiempo las propiedades que hacen de este termoplástico un material sumamente rentable, además el personal encargado podrá saber los parámetros óptimos para su procesamiento y, como punto importante, sabrá cómo resolver los problemas mas comunes que se pueden llegar a presentar en su manufactura.

Polietilentereftalato: un termoplástico con una demanda en constante crecimiento por sus múltiples características. En este material hay un poco mas de variables a controlar (como es el caso de la generación de acetaldehído, controlar la viscosidad intrínseca, etc.) que en el caso del polietileno, y por eso es importante que el personal encargado del proceso tenga los conocimientos necesarios para poder controlar este material, los cuales son explicados en este trabajo. Cómo poder controlar el nivel de acetaldehído, esto con el propósito de que la preforma a elaborar no lo contenga, ya que de lo contrario las bebidas contenidas en ese envase perderán rápidamente su sabor. Otro aspecto importante a considerar es la cristalinidad del PET. ya que de esto depende de que una preforma salga opaca o no. En general este trabajo presenta una guía práctica

y teórica de cómo controlar este termoplástico, y de igual manera presenta las fallas más comunes en el proceso de inyección de preformas.

Factores que influyen en el proceso: se presentarán las mas importantes variables a manipular en el proceso de inyección de termoplásticos para poder entregar productos con una calidad excelente, y cómo cada uno de ellos modifica el proceso de una manera determinada. Sin duda alguna este punto es de suma importancia para las personas que controlan el proceso ya que servirá para tener menos problemas y de igual forma optimizarlo.

Máquina de inyección: sin duda alguna es importante conocer el equipo con el cual se está trabajando ya que conociéndolo se tendrán puntos específicos de partida para poder solucionar un problema relacionado con la calidad del producto; de igual forma se conocerá la función de cada parte que conforma a la máquina de inyección.

El molde: importantísimo conocer el funcionamiento de un molde ya que del buen estado de éste depende la calidad del producto final y el de tener menor personal laborando en la planta, lo cual se traduce en un ahorro de capital, además de que se mencionan los dos tipos de moldes mas usados en la industria del plástico que son los de colada caliente y los de colada fría, mencionando las características de cada uno de ellos.

Servicios auxiliares: es importante tener en cuenta que el proceso de inyección no solo es una máquina de inyección y un molde, hay otros equipos que son necesarios en este proceso como una torre de enfriamiento y un enfriador (chiller) o equipos que faciliten el proceso como pueden ser robots o bandas transportadoras; en realidad hay un gran número de equipos para poder tener un proceso más redituable.

INTRODUCCIÓN.

Plástico es el nombre general que recibe todo un grupo de materiales cuya característica principal es la de estar formados por grandes moléculas las que a su vez se componen de pequeñas unidades que se repiten aproximadamente 200 a 10000 veces, por eso los plásticos son llamados químicamente polímeros.

El término plástico se aplica a las sustancias de distintas estructuras y naturalezas que carecen de un punto fijo de ebullición y poseen, durante un intervalo de temperaturas propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlas y adaptarlas a diferentes formas y aplicaciones. Sin embargo, en sentido restringido, denota ciertos tipos de materiales sintéticos obtenidos mediante fenómenos de polimerización o multiplicación artificial de los átomos de carbono en las largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos derivados del petróleo y otras sustancias naturales.

La idea original del moldeo por inyección se atribuye a Pelouze¹⁷, que en 1856 construyó una máquina para el vaciado que obligaba al metal fundido a penetrar en una matriz por medio mecánico o hidráulico.

En 1868, John Wesley Hyatt¹⁷, impresor de E.U. preparó una mezcla de nitrato de celulosa y alcanfor. Al tratar la mezcla bajo presión y en presencia de disolventes, obtuvo una sustancia que llamó “celuloide”, el cual puede ser considerado como el primer material derivado de una sustancia natural, como la celulosa.

Pocos años después se empezó a producir el celuloide comercialmente, sin embargo el uso de este material tenía dos limitaciones: Una por ser fácilmente inflamable y otra por tener un bajo punto de fusión.

En 1909, Leo Baekeland¹⁷, químico estadounidense, concluyó una investigación sobre productos resinosos obtenidos por condensación del fenol con formaldehído. La resina que se obtenía, inicialmente era fusible y soluble, pero bajo la acción del calor y un catalizador, se convertía en una sustancia dura, infusible e insoluble. Esta resina sintética empleada para preparar los primeros compuestos para moldeo de termofijos, fue llamada “bakelita”.

Como consecuencia de los nuevos descubrimientos científicos, la industria química descubrió, produjo y comercializó nuevos materiales. Dichos materiales probaron poseer características fisicoquímicas muy importantes, fáciles de moldear, buenas propiedades aislantes, bajo peso específico, etc. Las primeras máquinas de inyección de moldeo tenían una capacidad de inyección de 15-45 g por ciclo y solo servían para moldear artículos pequeños, como botones, peines de bolsillo y bisutería. La demanda por parte de los fabricantes de los Estados Unidos de máquinas de capacidad mayor y de una construcción más robusta para usarlas en la producción de piezas para las aplicaciones industriales, condujo a los fabricantes de prensas del país a construir máquinas de moldeo por inyección con cambios radicales en el diseño de los cilindros calentadores, dispositivos extendedores, émbolos de inyección y medios de sujeción. Hoy en día es imprescindible el uso de estos materiales plásticos, ya que son sustitutos de muchos objetos tanto metálicos como de papel, y es por eso que la demanda de estos materiales sigue creciendo.

1. CONCEPTOS BASICOS

ESTRUCTURA GENERAL DE LOS POLÍMEROS

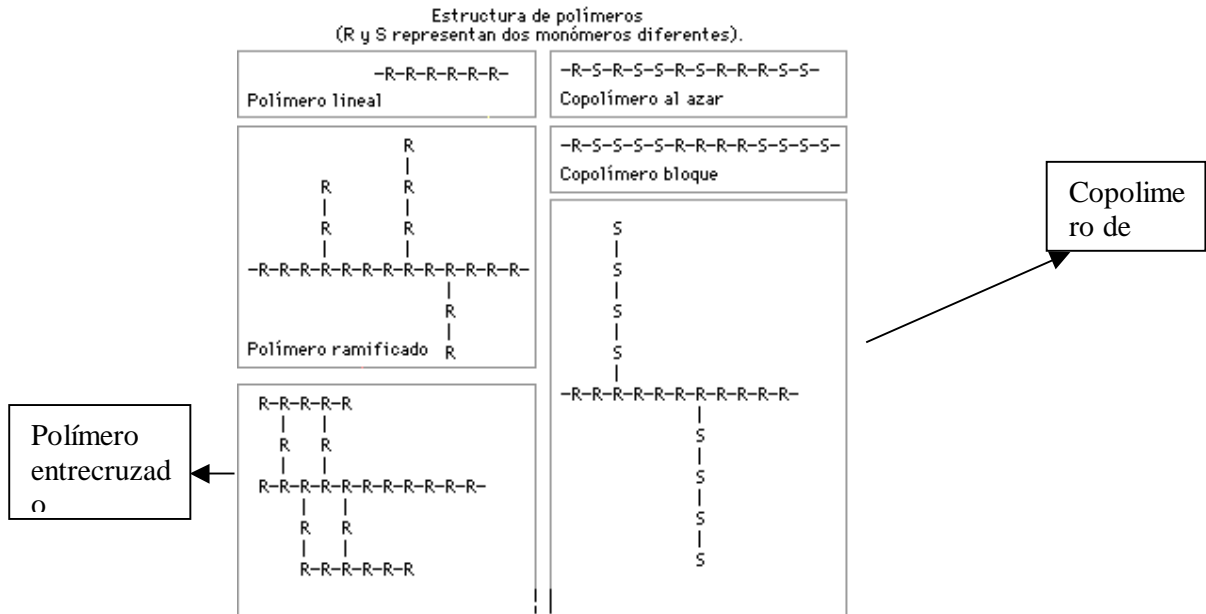


Figura 1.1 Estructura de los Polímeros⁽¹⁹⁾

Los plásticos son polímeros, los cuales son materiales que consisten en grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten, llamadas monómeros. Los polímeros que constan de un único tipo de monómero se denominan homopolímeros. Los que están formados por más de un tipo de monómeros reciben el nombre de copolímeros.

FUERZAS INTERMOLECULARES.

Cada molécula conserva su estructura debido a la fuerza de los enlaces químicos que mantienen unidos a sus átomos, una molécula de un compuesto puede interactuar con el resto de las moléculas de la misma sustancia. De la magnitud de esta interacción intermolecular, que es menor que la del enlace químico, dependen muchas propiedades de las sustancias. Estas fuerzas son responsables, por ejemplo, de la existencia de los líquidos y los sólidos. Si no existieran atracciones intermoleculares, toda la materia sería gaseosa.

FUERZAS DE VAN DER WAALS.

También llamadas fuerzas de dispersión, están en las moléculas de muy baja polaridad, generalmente en los hidrocarburos. Estas fuerzas provienen de dipolos transitorios: como resultado de los movimientos de electrones, en cierto instante una porción de la molécula se vuelve ligeramente negativa, mientras que en otra región aparece una carga positiva equivalente. Así se forman dipolos no-permanentes. Estos dipolos producen atracciones electrostáticas muy débiles en las moléculas de tamaño normal, pero en los polímeros, formados por miles de estas pequeñas moléculas, las fuerzas de atracción se multiplican y llegan a ser enormes.

FUERZAS DE ATRACCIÓN DIPOLO-DIPOLO.

Debidas a dipolos permanentes, como en el caso de los poliésteres. Estas atracciones son mucho más potentes y a ellas se debe la gran resistencia tensil de las fibras de los poliésteres.

ENLACES DE HIDRÓGENO.

Como en las poliamidas (nylon), estas interacciones son tan fuertes, que una fibra obtenida con estas poliamidas tiene resistencia tensil mayor que la de una fibra de acero de igual masa.

Hay atracciones de tipo iónico que son las más intensas.

Se llaman ionómeros y se usan, por ejemplo, para hacer películas transparentes de alta resistencia.

La siguiente tabla muestra la energía requerida para romper determinado enlace.

<i>Tipo de enlace</i>	<i>kcal / mol</i>
Van der Waals en CH ₄	2.4
Dipolos permanentes	3 a 5
Enlaces hidrógeno	5 a 12
Iónicos	Mayores a 100

Tabla 1.1 Energía requerida para romper determinado enlace⁽¹⁹⁾

La fuerza total de atracción entre las moléculas del polímero, dependería del número de las interacciones. Como máximo, sería igual a la energía de enlace según la tabla, multiplicada por el número de átomos de carbono en el caso del polietileno o por el número de carbonílicos C = O en los poliésteres, etc. Rara vez se alcanza este valor máximo, porque las cadenas de los polímeros no pueden, por lo general, acomodarse con la perfección que sería requerida.

TERMOPLÁSTICOS.

Los termoplásticos son polímeros de cadenas largas que cuando se calientan se reblandecen y pueden moldearse a presión. Representan el 78-80% de consumo total de los plásticos.

Los termoplásticos son macromoléculas lineales o ramificadas, unidas mediante fuerzas moleculares o puentes de hidrogeno. Los termoplásticos se caracterizan por transformarse de sólido a líquido y viceversa por acción del calor.

En estado semilíquido pueden deformarse permanentemente después de aplicar una fuerza. Esto se debe a que sus macromoléculas se liberan unas de otras y pueden deslizarse entre sí ante la aplicación de calor. A temperatura ambiente pueden ser blandos o duros frágiles y rígidos: los termoplásticos pueden moldearse y sus desechos pueden ser reciclados.

La tabla siguiente describe los principales polímeros termoplásticos.

<i>Nombre</i>	<i>Abreviatura</i>
Polietileno de baja densidad	LDPE
Polietileno de alta densidad	HDPE
Polipropileno	PP
Policloruro de polivinilo	PVC
Acetato de polivinilo	PVA
Polietilentereftalato	PET
Poliestireno	PS
Acrilonitrilo-butadieno-estireno	ABS
Acrilonitrilo-estireno	SAN
Polimetilmetacrilato	PMMA
Polihexametil diamida	NYLON 66
Policaprolactama	NYLON 6

Tabla 1.2 Principales termoplásticos⁽⁶⁾

RESINAS TERMOFIJAS.

Estos materiales se caracterizan por tener cadenas poliméricas entrecruzadas, formando una resina con una estructura tridimensional que no se funde. Polimerizan irreversiblemente bajo calor o presión formando una masa rígida y dura.

Ésta es la diferencia básica entre los polímeros termoplásticos y los termofijos.

La tabla siguiente muestra las resinas termofijas más importantes.

<i>Nombre</i>	<i>Familia</i>
Poliuretano	Ester-amida
Resinas alcidicas	Poliéster
Poliéster insaturado	Poliéster
Resina epoxida	Poliéster
Fenol-formaldehido	Urea

Tabla 1.3 Principales resinas termofijas⁽⁶⁾

CRISTALINIDAD.

La reacción que permite las uniones cruzadas en las moléculas poliméricas puede efectuarse durante o después de la polimerización entre las cadenas lineales.

A temperaturas altas, los polímeros se vuelven líquidos muy viscosos en los que las cadenas están constantemente en movimiento cambiando su forma y deslizándose unas sobre las otras. A temperaturas muy bajas, el mismo polímero sería un sólido duro, rígido y frágil.

El polímero puede solidificarse formando un sólido amorfo o uno cristalino. Como se sabe los polímeros con fuertes irregularidades en su estructura; tienden a formar sólidos amorfos y los polímeros con cadenas muy simétricas tienden a cristalizar, por lo menos parcialmente.

Un polímero parcialmente cristalino, generalmente tiene mayor resistencia mecánica que el mismo material con estructura amorfa. La mayor resistencia o mayor módulo se debe al gran número y espaciado regular de los espacios intermoleculares en las estructuras cristalinas. En los polímeros amorfos, el número de estas interacciones es

menos y su espaciamiento es errático, así que al aplicarles esfuerzos, muchas secciones del polímero se extienden o deforman libremente.

Los plásticos amorfos se caracterizan porque sus moléculas están en completo desorden, este arreglo molecular permite el paso de la luz por lo cual los plásticos amorfos son transparentes o translúcidos.

DIFERENTES TIPOS DE PROCESOS PARA MANUFACTURAR EL PLASTICO.

Moldeo por compresión:

En esta técnica se coloca el material plástico en una cavidad del molde y se conforma por calor y presión; para esta forma de moldeo se utilizan principalmente compuestos termofijos. El calor y la presión fuerzan el material contra las superficies del molde; a continuación, una vez que el calor endurece la sustancia y se extrae la pieza de la cavidad del molde, sus principales ventajas son el escaso desperdicio de material y reducidos costos del acabado gracias a la ausencia de bebederos. Existe la posibilidad de fabricar piezas grandes.

Moldeo por transferencia:

Se utiliza principalmente para materiales termofijos. Este método se diferencia del moldeo por compresión en que el plástico se calienta primero hasta alcanzar la plasticidad en una cámara de transferencia y se introduce con un pinzón en el bebedero de un molde cerrado. Se suelen emplear secciones e insertos delicados, se controla mejor el flujo del material en comparación con el moldeo por compresión, proporciona buena velocidad de producción. Los moldes suelen ser más caros que los moldes de moldeo por compresión.

Moldeo por extrusión:

En este proceso se introduce polvo de algún material termoplástico por una tolva en la que se calienta hasta dar plasticidad y después se conduce normalmente mediante un tornillo giratorio, a través de una boquilla con una sección transversal deseada. Las longitudes extruidas se utilizan como modificaciones, el costo es muy bajo, se pueden realizar insertos sin ningún problema, se pueden obtener formas complejas y se tiene una velocidad de producción rápida.

Calandrado:

En el calandrado se presan materiales termoplásticos hasta conseguir un grosor definitivo con cilindros calentados. A través de este método se pueden producir películas que se emplean para fabricar bolsas, zapatos, maletas, etc. El proceso consiste en mezclar en caliente resina, estabilizante, plastificante y pigmentos en una mezcladora, se conduce la mezcla caliente a través de un molino de dos rodillos para producir un material laminado. A medida que el material pasa por una serie de cilindros giratorios calentados, va adelgazándose progresivamente hasta alcanzar el grosor deseado.

Termo conformado:

Conformado al vacío. Se coloca una lámina ablandada por calor sobre un molde macho o hembra; se forma vacío entre la lámina y el molde procurando que la lámina se adapte

al molde. Es un procedimiento sencillo y barato, y existe la posibilidad de producir piezas grandes con secciones finas.

Conformado por soplado. Se aplica presión de aire en lugar de vacío para formar el contorno de la lámina al molde; se pueden fabricar láminas muy gruesas.

Moldeo por soplado:

Se expande un tubo extruido de plástico calentado dentro de las dos mitades de un molde hembra contra los lados del molde por presión del aire. Tiene bajos costos de herramientas, velocidades de producción rápidas, posibilidad de producir formas huecas.

Moldeo de troquel acoplado:

Es una variante del moldeo por compresión. Se utilizan dos moldes de metal que tienen un ajuste de cierre, se vierte una cantidad de resina previamente medida, se cierra el molde y se calienta, las presiones oscilan por lo general entre 1.04 y 2.75 Mpa.

Moldeo por inyección:

Esta técnica se basa en la introducción de un termoplástico que pasa por un cilindro. Con la ayuda del calor suministrado por bandas calefactores y fricción de un tornillo sin fin, se funde y se inyecta a presión a un molde por el cual pasa agua helada, y en el cual se le da la forma del producto final.

Moldeo por inyección-soplo:

Técnica en la cual se inyecta material a un molde y con la ayuda de un robot se toman las piezas del molde y se transportan a la sección de soplado en donde la pieza (llamada preforma) se introduce en un molde de dos caras el cual tiene la forma del producto final. Se cierra el molde y se sopla aire en la preforma, la cual toma la forma del producto final.

2. PRINCIPIOS DEL MOLDEO POR INYECCIÓN.

El principio en el que se basa el moldeo por inyección consiste en introducir el plástico granulado dentro de un cilindro, donde se calienta. En el interior del cilindro hay un tornillo sinfín que actúa de igual manera que el émbolo de una jeringuilla. Cuando el plástico se reblandece lo suficiente, el tornillo sinfín 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.

En una máquina de inyección, el material plástico de forma granulada, llamado pelet, que se encuentra en las tolvas, pasa al cilindro de la máquina mediante el movimiento rotacional del husillo que a su vez transporta el material hasta la parte delantera del mismo; durante el paso del material a través del cañón éste se comprime y plastifica, ya que el cañón está provisto de un sistema de calentamiento (de resistencias eléctricas).

En la siguiente figura se puede apreciar la importancia del moldeo por inyección en la fabricación de productos de plástico en México.

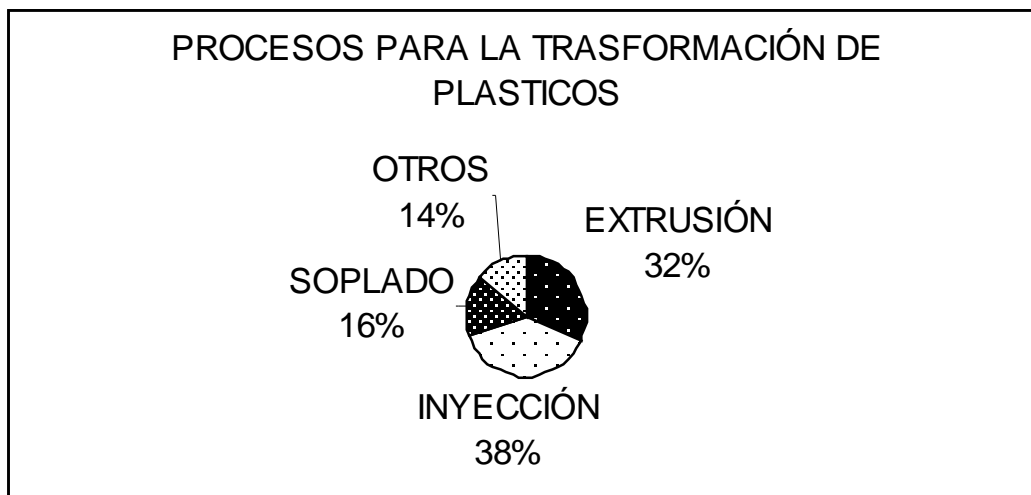


Figura 2.1 Diferentes procesos utilizados para la transformación de plásticos⁽²⁰⁾

El husillo posee el movimiento longitudinal con la cual empuja al material a un molde cerrado, denominándose esta fase como fase de inyección, el material inyectado se enfría en el molde durante un cierto tiempo en el que el material toma la consistencia pudiendo de esta forma abrir el molde y con ello obtener la pieza con la forma de la cavidad del molde.

En la figura 2.2 se puede apreciar el porcentaje de artículos terminados elaborados con materiales plásticos en México

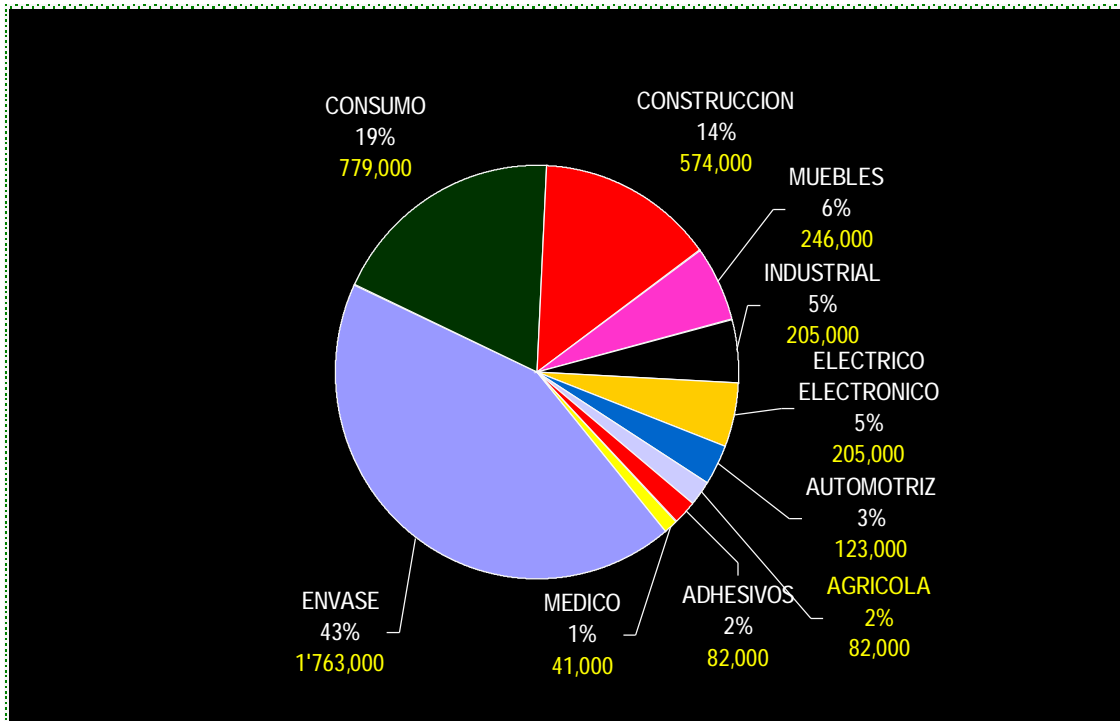


Figura 2.2 Porcentaje y toneladas de producto terminado elaborados con productos plásticos⁽²⁰⁾

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

1. El material se coloca en la tolva listo para ser moldeado (seco pigmentado, mezclado, etc., según sea el caso).
2. El molde se cierra en varias etapas.
 - ◆ A alta velocidad y baja presión hasta antes de que se toquen las platinas del molde.
 - ◆ A baja velocidad y baja presión hasta que las platinas hacen contacto total.
 - ◆ A alta presión para generar la fuerza necesaria para evitar que el molde se abra durante la inyección.
3. El material es plastificado (fundido) por la acción de las bandas calefactoras y por el calor debido a la fricción que genera la rotación del husillo.
4. El husillo sigue girando hasta que se actúa un micro que determina la cantidad de material que ha de ser alimentado a la punta del cilindro. Para evitar que el material plastificado que se encuentra en la punta del cilindro empuje al husillo hacia atrás, se le aplica a éste una presión en sentido contrario (contrapresión).
5. Al finalizar la dosificación, el husillo retrocede ligeramente para evitar que el material fluya hacia fuera de la boquilla antes de ser inyectado dentro del molde, A esto se le llama descompresión.
6. Por medio de un sistema hidráulico se empuja al husillo para que actúe como un pistón, inyectando el material dentro de las cavidades del molde a determinada velocidad y presión de inyección. Terminada la inyección se ejerce una presión sobre el material por medio del husillo (de sostenimiento) que generalmente es menor a la presión de inyección y sirve para contrarrestar las contracciones del material debidas a la solidificación.

7. Poco a poco el material solidifica y por lo tanto la presión de sostenimiento ya no tiene ningún efecto por lo que se elimina.
8. El calor que desprende la pieza se trasmite al molde y a su vez es disipado por agua, que corre a través de los canales de enfriamiento del molde. Una vez que ha transcurrido el tiempo de enfriamiento ajustado en la máquina, el molde se abre.
9. Un mecanismo de expulsión(neumático o hidráulico) saca el producto del molde y la máquina puede iniciar el siguiente ciclo.

3. PROPIEDADES DE LOS PLASTICOS A CONSIDERAR DURANTE EL MOLDEO POR INYECCIÓN.

3.1 DENSIDAD

La densidad es la masa que tienen los materiales plásticos por unidad de volumen. Existen varios tipos de densidades, estas son: neta, aparente y compactada.

La densidad neta es aquella que corresponde al material completamente sólido, sin que existan espacios entre ellos. La densidad aparente se determina cuando los polvos o pellets son vaciados en un recipiente libremente sin compactación. Existen varios espacios libres que provocan que el valor reportado sea bajo. La densidad compactada es la obtenida cuando los polvos son sometidos a una compactación por medio de un pistón.

La densidad influye en el peso de los productos plásticos y en la productividad de un proceso. Con valores bajos se obtienen un mayor número de piezas, metros, películas o lámina por cada kilogramo. Con valores altos se obtiene un mayor peso en los productos y por lo tanto disminuye el rendimiento por cada kilogramo de materia prima.

Debe considerarse que la densidad de los materiales en estado fundido o reblandecido es distinta a la que presenta en forma sólida.

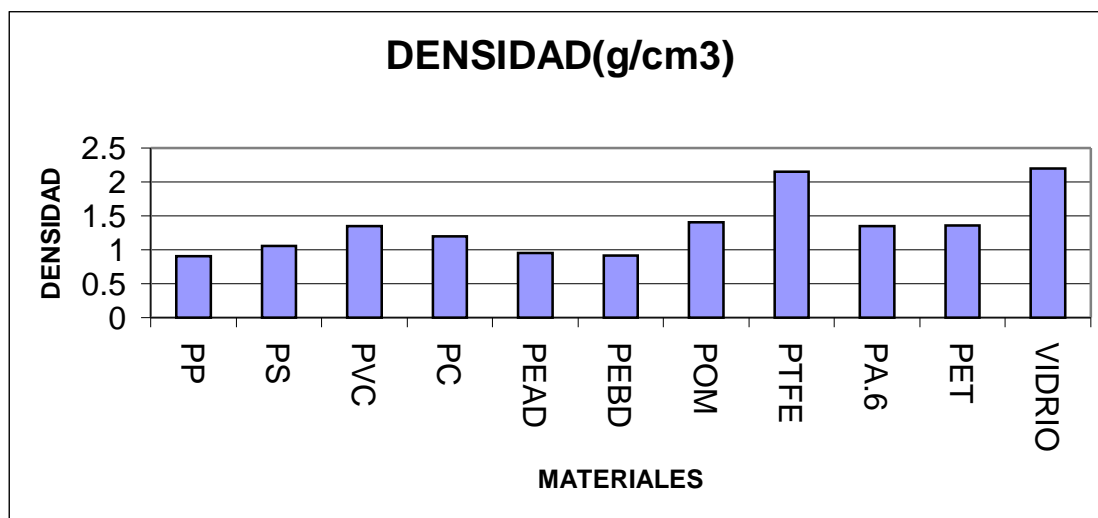


Figura 3.1 Densidades de diferentes materiales⁽¹⁰⁾.

3.2 CONTRACCIÓN AL MOLDEO

Es la característica que tienen los materiales plásticos que al ser moldeados tienden a reducir sus dimensiones en el momento de solidificación o enfriamiento.

La contracción de los materiales plásticos es un indicador de la estabilidad dimensional que posee. Durante el procesamiento es importante asegurar que los productos adquieran dimensiones cercanas a las definitivas, de otra manera los productos presentarían problemas de ensamble.

Es importante en el diseño de moldes para poder compensar la disminución del tamaño de la pieza.

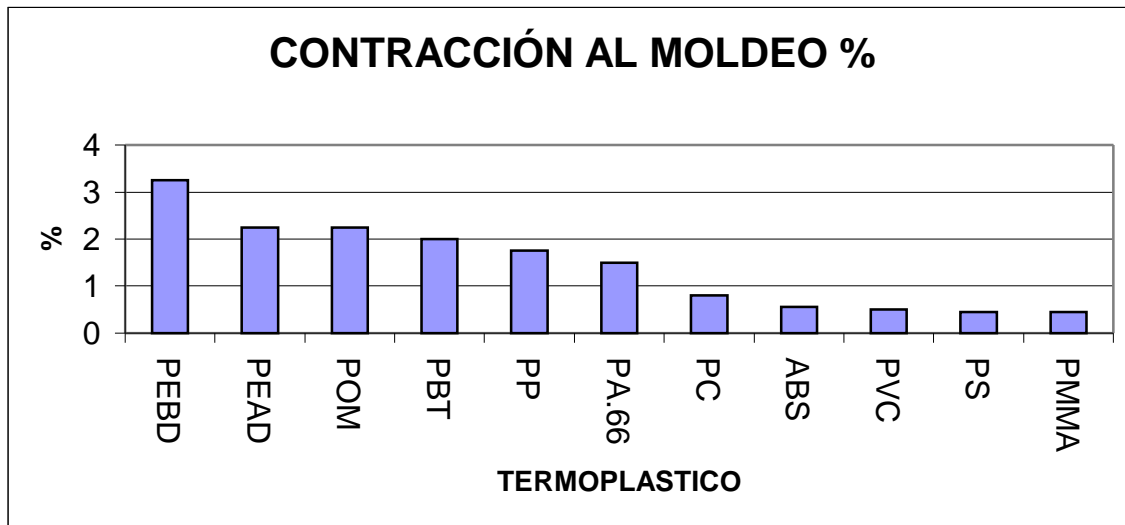


Figura 3.2 Porcentaje de contracción⁽¹⁰⁾

3.3 INDICE DE FLUIDEZ

Es la capacidad de un material plástico para desplazarse en estado fundido por un orificio de diámetro de 0.0825 pulgadas mediante un pistón que proporciona una fuerza de 2160 gramos a una temperatura de 190°C durante 10 minutos. Los valores altos de índice de fluidez significan bajos pesos moleculares y valores bajos de índice de fluidez representan altos pesos moleculares.

Los polímeros termoplásticos en estado fundido tienen el valor más bajo de densidad (y por consiguiente el más alto índice de fluidez) y pueden permanecer en esta condición por varios minutos.

3.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Es la propiedad que presentan los plásticos a oponerse a una fuerza que los presiona o comprime, hasta obtener su grado de ruptura o deformación. La fuerza de compresión de un material es calculada en kg/cm^2 requeridos para la ruptura de la pieza o la deformación de la misma.

Dicha propiedad indica las cargas que soportan los plásticos antes de deformarse.

3.5 VISCOSIDAD:

Es la propiedad que tienen los materiales a oponerse a fluir. Durante el proceso de moldeo por inyección, la viscosidad de la masa fundida disminuye, aun cuando se aumente la temperatura a la cual ocurre la fusión.

Esfuerzo de corte:

$$t = \frac{F}{A} [N/m^2] \quad (3.1)$$

Donde:

τ = Esfuerzo cortante
F = Fuerza
A = Área

Velocidad de corte

$$\dot{g} = \frac{V}{d} [1/s] \quad (3.4)$$

Donde:

\dot{g} = Velocidad de corte
V = velocidad de la masa fundida
d = distancia que recorre la masa fundida

Para canales cilíndricos de longitud L , radio del cañón R , caída de presión P y caudal Q , se tiene:

Esfuerzo de corte en la pared cilíndrica:

$$t = \frac{P \cdot R}{2 \cdot L} \quad (3.5)$$

Velocidad de corte en la pared:

$$\dot{g} = \frac{4 \cdot Q}{p \cdot R^3} \quad (3.6)$$

$$\text{Si se sabe que } \frac{Q}{p} = Vr^2 \quad (3.7)$$

En donde:

Q = al caudal
V = Velocidad de bajada del pistón
r = radio del pistón

Entonces la viscosidad aparente sería:

$$h_{ap} = \frac{P \cdot R^4}{8 \cdot L \cdot V \cdot r^2} : \quad (3.8)$$

Parámetros proporcionales

$$t = h \cdot \dot{g} \quad (3.2)$$

$$h = \frac{t [N/m^2]}{\dot{g} [1/s]} = \frac{t}{\dot{g}} [N \cdot s/m^2] \quad (3.3)$$

Donde:

η = Viscosidad
 τ = Esfuerzo cortante
 \dot{g} = Velocidad de corte

3.6 ELONGACIÓN

Es la máxima extensión que alcanza un material hasta llegar al momento de su ruptura, después de ser sometida a un estiramiento. Y se expresa como un porcentaje de la longitud original.

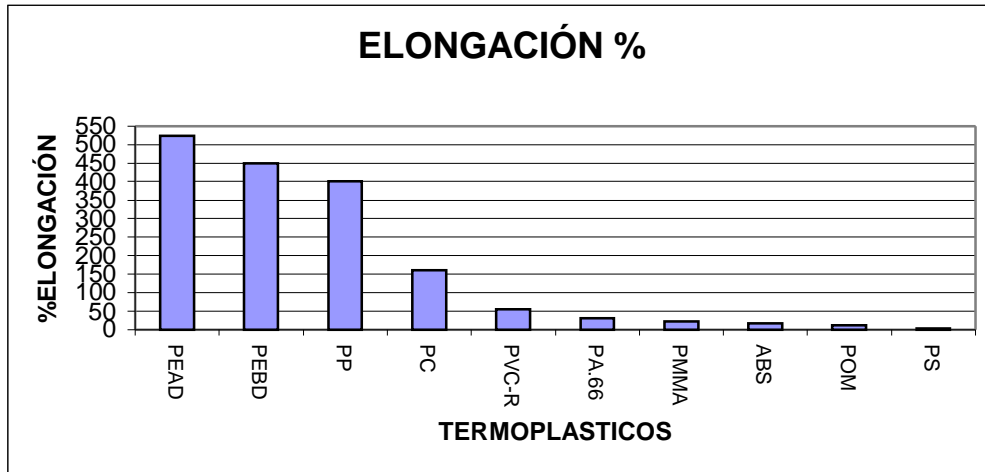


Figura 3.3 Por ciento de elongación en algunos termoplásticos⁽¹⁰⁾

3.7 TEMPERTAURA VICAT

Es la temperatura que puede soportar un plástico antes de deformarse, sin que sobre el se aplique un esfuerzo mecánico. Con este dato se puede saber a qué temperatura se ablanda o deforma un plástico. Es la temperatura a la que un material es penetrado 1 mm por una aguja de punta plana con 1 mm² de sección circular bajo 1000 g de carga.

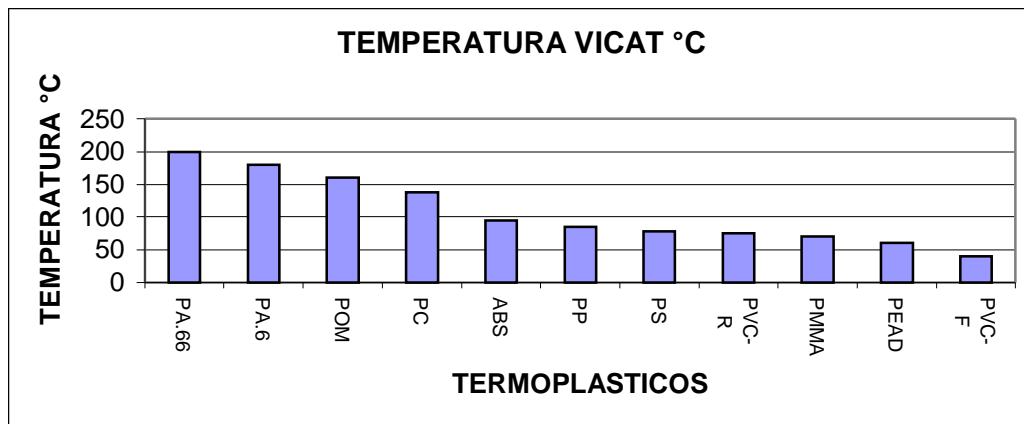


Figura: 3.4 Límite de temperatura de deformación de algunos termoplásticos⁽¹⁰⁾.

3.8 CONSTANTE DIELECTRICA:

Es la capacidad de los materiales plásticos de almacenar la energía electrostática dentro de ellos. Para muchos plásticos la constante dieléctrica decrece con la frecuencia de la corriente eléctrica y se incrementa con la temperatura.

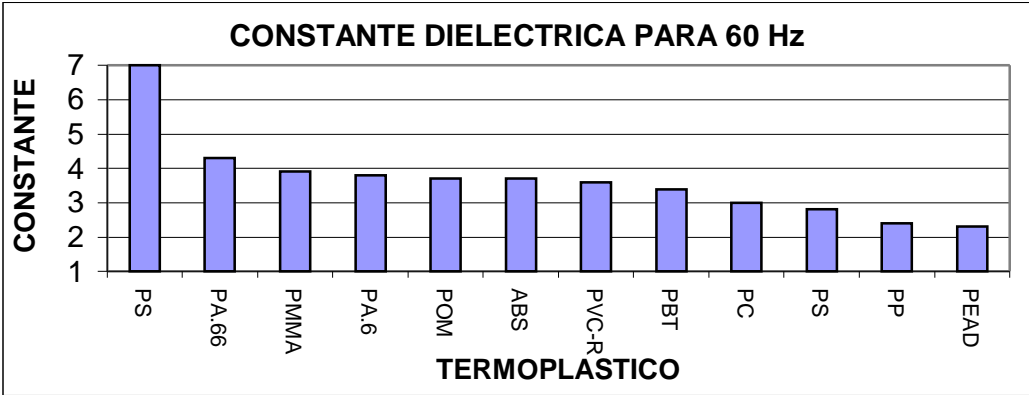


Figura 3.5 Constante dieléctrica de diferentes termoplásticos⁽¹⁰⁾

4. POLIETILENO.

Los polietilenos son resinas termoplásticas producidas mediante procesos a alta y baja presión en los que se usan varios sistemas catalíticos complejos. Como resultado se obtienen varias familias de polímeros (de baja densidad, de baja densidad lineal y de alta densidad). Cada uno con características diferentes de comportamiento y cualidades térmicas. Por lo general todos los polietilenos poseen muy buena resistencia a los disolventes orgánicos y a compuestos químicos, son materiales translúcidos, de peso ligero, resistentes y flexibles. Con lo que respecta a su polimerización se encontró que el polietileno posee una estructura molecular compuesta por regiones cristalinas y amorfas.

Un avance en la obtención de polietileno ocurrió cuando, Karl Ziegler¹¹ encontró que ciertos compuestos de transición (titanio) podrían producir polietileno con altos rendimientos. Posteriormente el profesor G. Natta¹¹ anunció el descubrimiento de los polímeros estereoreguladores de α -olefinas.

PRODUCCIÓN DE POLIETILENO.

En la siguiente figura se puede apreciar la cantidad de polietileno en sus tres presentaciones, que se consume en la industria del plástico

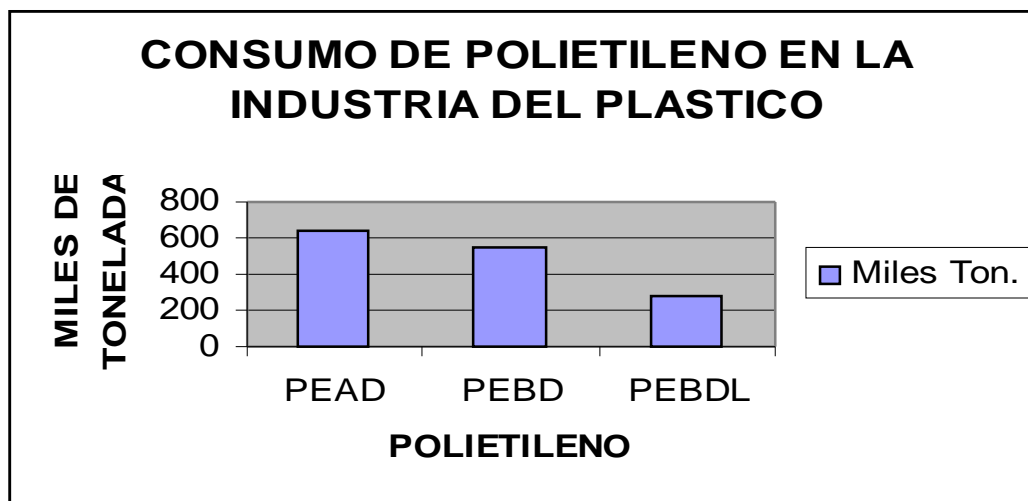


Figura 4.1 Consumo de polietileno en la industria mexicana⁽²¹⁾

La figura 4.2 presenta la cantidad de polietileno que es consumida en la industria del plástico, tomando como referencia el consumo total de resina termoplástica.

4.1 TIPOS DE POLIETILENOS.

El Polietileno de baja densidad

A veces llamado polietileno de baja densidad y alta presión, se hace comúnmente por polimerización del etileno a alta presión para formar moléculas de polietileno

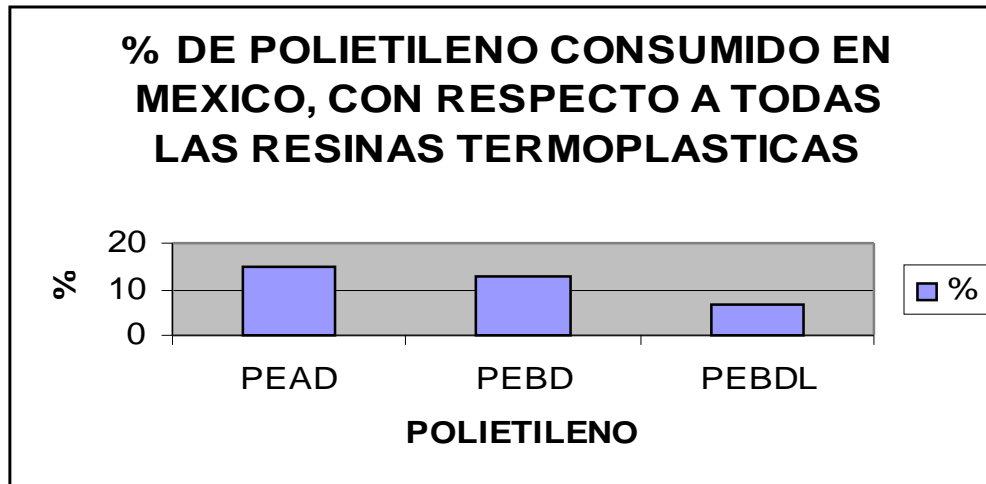
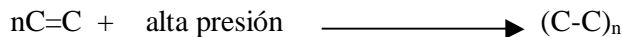


Figura 4.2 Comparación de consumo de polietileno con otras resinas termoplásticas en México⁽²¹⁾



El resultado es un polímero termoplástico de cadena larga altamente ramificado con una densidad que va de 0.910 a 0.925 g/cm³

La siguiente tabla muestra las principales propiedades del polietileno de baja densidad.

<i>Propiedad</i>	<i>Valor/Efecto</i>
Alargamiento a la ruptura	100-700%
Temperatura vicat	90-102°C
Absorción de agua en 24 horas	< 0.01%
Resistencia a ácido débil	No es atacado
Resistencia a ácido fuerte	Mínimamente atacado
Resistencia a base débil	No es atacado
Resistencia a base fuerte	No es atacado
Disolvente de bajo peso molecular	No es atacado
Alcoholes	No es atacado
Constante dieléctrica	2.2 x 10 ⁶ hertz
Temperatura de fusión	106-112 °C

Tabla 4.1 Propiedades del polietileno de baja densidad⁽¹¹⁾

Polietileno de baja densidad lineal.

El polietileno lineal de baja densidad se puede describir como un copolímero de etileno/ α -olefina, que tiene una estructura molecular lineal.

Los comonómeros mas usados comercialmente son el buteno, el hexeno y el octeno. El polietileno de baja densidad lineal es un material termoplástico duro y resistente que consiste en una cadena lineal con ramificaciones laterales cortas.

La siguiente tabla muestra las principales propiedades del polietileno de baja densidad lineal.

<i>Propiedad</i>	<i>Valor/Efecto</i>
Alargamiento a la ruptura	200-1200%
Temperatura vicat	80-94°C
Absorción de agua en 24 horas	< 0.01%
Resistencia a ácido débil	No es atacado
Resistencia a ácido fuerte	Mínimamente atacado
Resistencia a base débil	No es atacado
Resistencia a base fuerte	No es atacado
Disolvente de bajo peso molecular	Insoluble
Alcoholes	Insoluble
Constante dieléctrica	2.3 *10 ⁶ hertz
Temperatura de fusión	125 °C

Tabla 4.2 Propiedades del polietileno de baja densidad lineal⁽¹¹⁾

Polietileno de alta densidad.

El polietileno de alta densidad es un material termoplástico parcialmente amorfo y parcialmente cristalino. El grado de cristalinidad depende del peso molecular, de la cantidad de comonomero presente y el tratamiento térmico aplicado. En el caso del polietileno de alta densidad, se incrementan las propiedades de resistencia a la cedencia tensil, rigidez, resistencia a la deformación, impermeabilidad, resistencia a la abrasión, contracción en el moldeo y dureza al incrementar la densidad; por otra parte se incrementa la resistencia al impacto; a medida que el peso molecular promedio se incrementa, el flujo del polímero fundido decrece y hay mas contracción en las partes moldeadas.

Las características de funcionamiento del polietileno de alta densidad le han merecido usos comerciales importantes, en comparación con los otros dos tipos de polietilenos, ya que el polietileno de alta densidad proporciona mayor rigidez en el artículo moldeado.

Ventajas y desventajas del polietileno de alta densidad

Ventajas:

- Ø Impide el paso de la humedad.
- Ø Buena rigidez.
- Ø La capacidad de soporte de carga aumenta cuando el peso molecular también aumenta
- Ø Buena estabilidad térmica en el intervalo de -40 a 600°F.

Desventajas.

- Ø Tasas de transmisión de gas relativamente alta, no impide el paso del oxígeno.
- Ø Temperaturas mas elevadas pueden provocar la degradación del material.

La siguiente tabla muestra las principales propiedades del polietileno de alta densidad.

<i>Propiedad</i>	<i>Valor/Efecto</i>
------------------	---------------------

Alargamiento a la ruptura	100-1000%
Temperatura vicat	120-130°C
Absorción de agua en 24 horas	0%
Resistencia a ácido débil	No es atacado
Resistencia a ácido fuerte	Mínimamente atacado
Resistencia a base débil	No es atacado
Resistencia a base fuerte	No es atacado
Disolvente de bajo peso molecular	Mínimamente atacado
Alcoholes	Insoluble
Constante dieléctrica	2.2-3 *10 ⁶ hertz

Tabla 4.3 Propiedades del polietileno de alta densidad⁽¹¹⁾

Los artículos de polietileno de alta densidad pueden pulverizarse y reciclarse, se mezcla con polietileno de alta densidad nuevo antes de usarse en común con una proporción del 10% o menos del producto remolido.

5.2 POLIETILENOS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA DEL MOLDEO POR INYECCIÓN

El polietileno comercial es de color opaco, con aspecto lechoso, y dependiendo de cual sea su densidad es su apariencia. El polietileno de alta densidad es un gránulo rígido, mientras que el de baja densidad y el de baja densidad lineal presentan una textura un poco blanda. Comercialmente a estos gránulos de polietileno se les llama pellets.

De manera general en la industria, el polietileno se clasifica de acuerdo a su densidad en tres tipos.

Baja densidad de 0.910 a 0.925 g/cm³

Media densidad de 0.926 a 0.944 g/cm³

Alta densidad de 0.945 a 0.970 g/cm³

Las propiedades mecánicas, elásticas y ópticas de la resina varían con la densidad; Esta a su vez depende de la estructura molecular del polímero; el de baja densidad tiene una estructura amorfa y el de alta densidad una estructura esencialmente cristalina, la densidad está en función directa de la cristalinidad.

El índice de fluidez está en función inversa al peso molecular del polímero, generalmente su valor se encuentra entre 0.1 y 70 g/10min.

La rigidez del polietileno aumenta con la densidad, un artículo más denso es por consiguiente más rígido.

Polietileno de alta densidad.

A menor densidad, menor rigidez en el artículo.

A mayor densidad, mayor rigidez en el artículo.

También es un material que presenta muy buena resistencia al impacto.

A mayor índice de fluidez menor resistencia mecánica.
 A menor índice de fluidez mayor resistencia mecánica.

Los principales tipos de polietilenos de alta densidad que se producen en México son:

<i>Tipo de polietileno</i>	<i>Densidad</i>	<i>Índice de fluidez</i>	<i>Usos</i>
Padmex-50003	0.950 g/cm ³	0.3 g/10min	Su uso principal está en el moldeo por soplado de todo tipo de envase hasta 50 litros, juguetes, garrafrones, botellas, películas de empaque, etc.
Padmex-60003	0.960 g/cm ³	0.3 g/10min	Su uso principal está en el moldeo por soplado de todo tipo de envase mayores a 50 litros, juguetes, etc.
Padmex-65050	0.950 g/cm ³	5 g/10min.	Se usa principalmente en el moldeo por inyección, cubetas industriales, cajas refresqueras, juguetes,
Padmex-60120	0.960 g/cm ³	12 g/10min.	Su uso principal está en el moldeo por inyección, cubetas uso domestico, línea hogar, juguetes, piezas industriales, etc.

Tabla 4.4 principales tipos de polietileno de alta densidad utilizados en México⁽¹¹⁾

Polietileno de baja densidad.

A menor densidad mayor flexibilidad en el artículo.
 A mayor densidad menor flexibilidad en el artículo.

Los artículos elaborados con esta resina se caracterizan por la excelente resistencia al impacto, buen brillo y transparencia.

En la siguiente tabla se presentan los principales usos que se le dan al polietileno de baja densidad.

<i>Tipo de polietileno</i>	<i>Densidad</i>	<i>Índice de fluidez</i>	<i>Usos</i>
Px-20020-p	0.920 g/cm ³	2 g/10min	Su uso principal esta en películas de empaque.
Px-20020-x	0.920 g/cm ³	2 g/10min.	Su uso principal esta en la fabricación de tubería de baja presión, perfiles y monofilamentos, moldeo para soplado y para inyección de tapas inviolables.
Px-22004	0.922 g/cm ³	0.4 g/10min	Su uso principal está en películas de grueso calibre, para sacos industriales

Px-17070-1	0.917 g/cm ³	7 g/10min	Su uso principal está en recubrimiento de cartón, papel kraft, aluminio, celofán, etc. Moldeo por inyección en tapas y tapones.
Px-21200-i	0.921 g/cm ³	20 g/10min	Su uso principal está en el moldeo por inyección de cubetas, cestos, todo tipo de tapas
Px-18450-g	0.918 g/cm ³	45 g/10min.	Su uso principal está en el moldeo por inyección, árboles artificiales, flores artificiales.

Tabla 4.5 Principales tipos de polietileno de baja densidad utilizados en México⁽¹¹⁾

4.3 PARAMETROS DE TEMPERATURA PARA SU PROCESAMIENTO.

Para el caso de moldeo por inyección, los polietilenos de alta densidad mas usados son el Padmex 65050 y el Padmex 60120 por las propiedades ya mencionadas. Para el caso del Padmex 65050 se requiere de una inyectora automática o semiautomática de por lo menos 100 toneladas de cierre, con versatilidad para cambios de temperaturas, dosificación de material, presión de inyección, presión de cierre, temperaturas del molde y temperatura de enfriado. Esto por que el Padmex 65050 es más rígido que el Padmex 60120, lo que implica que hay que tener un control mas preciso y la opción de modificarlos de manera rápida en el caso que el proceso empiece a tener problemas.

Para el caso del Padmex 60120, por ser más suave y por lo tanto más sencillo de inyectar, cualquier inyectora es útil, incluyendo las inyectoras manuales.

En la figura 4.3 se muestran algunas temperaturas para el procesamiento óptimo del polietileno de alta densidad.

En la figura 4.4 se presentan algunas temperaturas óptimas para el polietileno de baja densidad

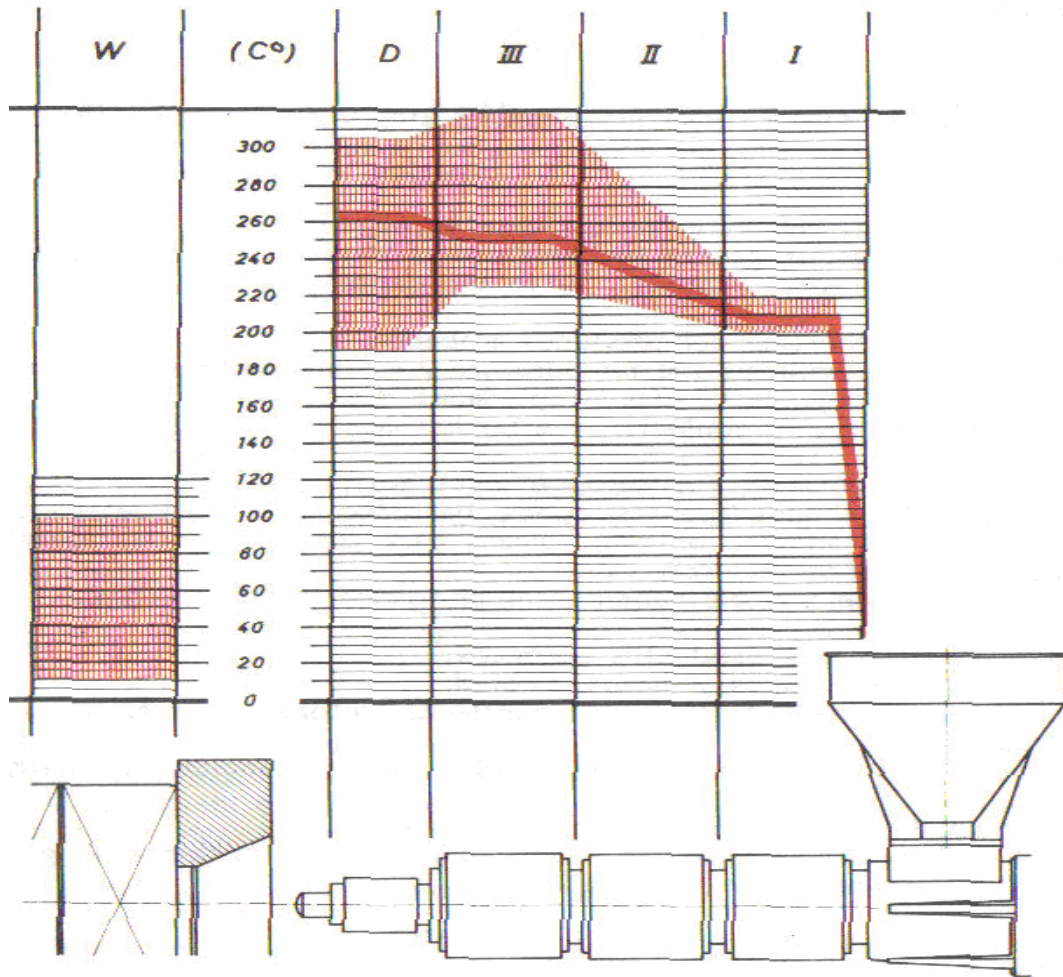


Figura 4.3 Zonas de temperatura recomendables para el procesamiento del polietileno de alta densidad.⁽¹⁴⁾

Las condiciones de procesamiento afectan la orientación molecular y la densidad, que a su vez afecta las propiedades ópticas y mecánicas del producto final. La orientación del polietileno de baja densidad comúnmente es el resultado de "tensiones" durante el proceso, estas tensiones pueden reducirse con temperaturas más elevadas, velocidades de proceso más lentas y canales de flujo más grandes. Velocidades de enfriamiento rápidas producen densidades más bajas afectando las propiedades mecánicas del producto final.

4.4 PROBLEMAS MÁS COMUNES EN LA INYECCIÓN DE POLIETILENO.

Con la finalidad de llevar un buen proceso de moldeo por inyección de plásticos se presentan a continuación algunos problemas comunes dentro del proceso y las causas posibles que los ocasionan, tomando como remedio posible al problema la realización de la acción contraria a la causa del problema

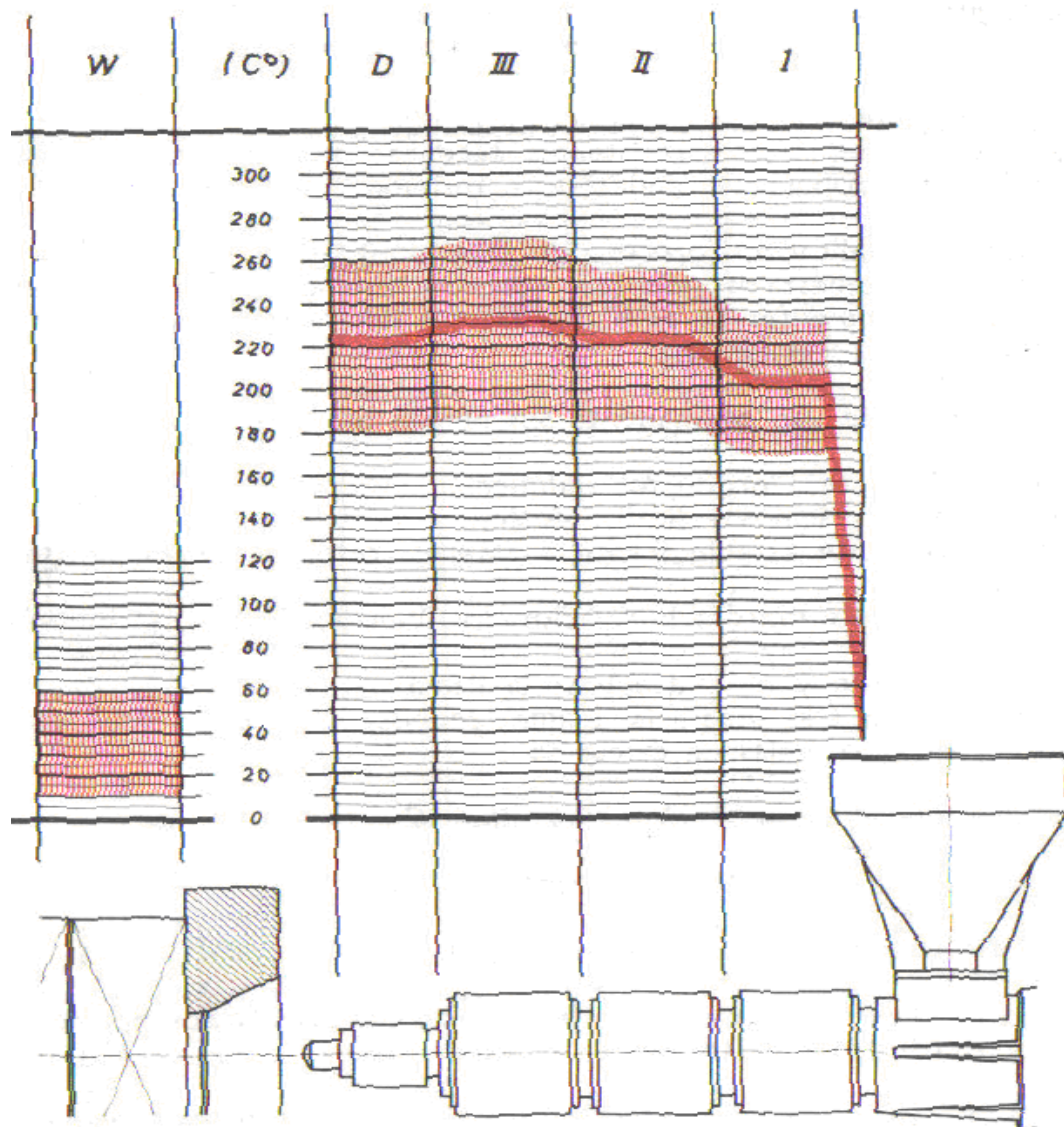


Figura 4.4 Zonas de temperaturas recomendables para el procesamiento del polietileno de baja densidad.⁽¹⁴⁾

- *PIEZAS INCOMPLETAS:*

Esto hace referencia a un llenado insuficiente de la cavidad del molde, lo cual puede ser ocasionado ya sea porque el tornillo no plastificó la cantidad necesaria para la inyección, o a que la temperatura del fundido es muy baja, la velocidad de inyección es muy baja lo que ocasiona un enfriamiento prematuro de la cantidad de material fundido; así mismo puede ser causado por un sistema inadecuado de respiración del molde, que es el responsable de originar la formación de burbujas, lo cual puede dar lugar a que no se llene por completo la cavidad del molde.

Causas que ocasionan piezas incompletas:

- Ø Falta de material en la tolva.

- Ø Dosificación insuficiente de material.
- Ø El volumen del molde es mayor que la capacidad de plastificación de la máquina.
- Ø No se ha alcanzado la temperatura de procesamiento del material.
- Ø Obstrucción total o parcial de la garganta de la tolva.
- Ø Obstrucción de la boquilla, o tiene el orificio muy pequeño.
- Ø Mal funcionamiento de la válvula antiretorno (distanciador) del husillo.
- Ø Presión de inyección muy baja, o pérdida de la misma.
- Ø Tiempo de presión de sostenimiento muy corto.
- Ø Velocidad de inyección muy baja.
- Ø Velocidad de llenado de las cavidades no uniforme.
- Ø Canales de alimentación muy pequeños.
- Ø Localización inadecuada, mal contacto entre el bebedero y la boquilla.
- Ø Sistema de respiración insuficiente.

- *PIEZAS CON REBABA:*

Las piezas con rebaba son aquellas que presentan en su contorno un excedente de material, aunque regularmente se debe a que el molde está deficiente, también se debe a fuerzas mayores a la fuerza de cierre, sobrecalentamiento de material, alimentación excesiva, etc.

Causas que ocasionan rebaba en las piezas:

- Ø Dosificación excesiva.
- Ø Temperatura en la zona del cañón muy alta.
- Ø Presión de inyección muy alta.
- Ø Tiempo de inyección muy largo.
- Ø Velocidad de inyección muy alta.
- Ø Cierre inadecuado del molde.
- Ø Fuerza de cierre insuficiente.
- Ø Respiración insuficiente.
- Ø Área proyectada de las piezas mucho mayor que la capacidad de cierre de la máquina.

- *RECHUPES Y HUECOS:*

Las piezas con rechupe presentan una depresión en su superficie y las piezas con huecos presentan espacios interiores que no han sido llenados totalmente.

Frecuentemente los rechupes se deben a una presión insuficiente sobre el fundido, o al empacado insuficiente de material en la cavidad. Se presenta regularmente en secciones gruesas sobre todo cuando están adyacentes a secciones delgadas.

Los huecos son debidos a una cantidad insuficiente de material en la cavidad, se forma cuando las paredes externas de la pieza se solidifican y ocurre un encogimiento ocasionando un vacío interno, una causa principal es que el material contiene humedad o algún aditivo que pueda formar burbujas o huecos a la temperatura de procesamiento.

Causas que ocasionan rechupes y huecos:

- Ø Presión de inyección baja.
- Ø Tiempo de presión de sostenimiento muy corto.
- Ø Velocidad de inyección baja.
- Ø Material sobrecalentado.
- Ø Material húmedo o con alto contenido de volátiles.
- Ø Enfriamiento del molde no uniforme.
- Ø Tamaño de la entrada, canales de alimentación y boquilla muy pequeños.

- *LINEAS DE SOLDADURA (ráfagas):*

Las líneas de soldadura son marcas o líneas visibles en la superficie, originadas principalmente por el recorrido del flujo del material. Regularmente se debe a una presión y temperatura insuficientes.

Causas que ocasionan ráfagas:

- Ø Velocidad de inyección muy baja.
- Ø Temperatura de proceso y molde muy bajas.
- Ø Presión de inyección muy baja.
- Ø Flujo inadecuado de material.

- *DISTORSIÓN:*

Es el defecto que ocurre en una pieza cuando ésta no retiene su tamaño original al ser eyectada del molde. Normalmente se debe al diseño en las piezas, a la localización de la entrada y a condiciones de moldeo.

Causas que ocasionan distorsión.

- Ø Diseño inadecuado de la pieza.
- Ø Enfriamiento no uniforme en el molde.
- Ø Tiempo de enfriamiento muy corto.
- Ø Sistema de extracción no apropiado.

- *DECOLORACIÓN POR DEGRADACIÓN O POR AIRE ATRAPADO:*

El cambio de color de una pieza puede deberse a la descomposición térmica que conduce a la degradación o quemado del material, y esto se debe a temperaturas excesivas del material.

Causas que ocasionan decoloración:

- Ø Material contaminado.
- Ø Material húmedo.
- Ø Material degradado.
- Ø Aditivos degradados.
- Ø Contaminación dentro del cañón o en la tolva.
- Ø Mal funcionamiento del sistema de control de temperaturas.
- Ø Temperaturas excesivamente altas dentro del cañón y de la boquilla.

- Ø Velocidad excesiva de giro del husillo.
- Ø Contrapresión demasiado alta.
- Ø Respiración insuficiente del molde.
- Ø Estancamiento del material en la boquilla o en el cañón.

- *LINEAS DE FLUJO:*

Las líneas de flujo son fallas que se originan por un inadecuado diseño del molde, al igual que por la obstrucción del flujo para el llenado del molde. Estas marcas no afectan el desempeño de la pieza sino su apariencia.

Causas de aparición de líneas de flujo:

- Ø Temperatura del material demasiado baja.
- Ø Temperatura del molde demasiado baja.
- Ø Entrada demasiado pequeña.
- Ø Localización inadecuada de la entrada.
- Ø Obstrucción al flujo en el molde.

- *GRIETAS SUPERFICIALES:*

Este problema ocurre cuando existen esfuerzos residuales en la pieza lo cual al someterse a altas temperatura, contacto con solventes u otras sustancias químicas pueda reflejar grietas.

Causas posibles de la generación de grietas:

- Ø Temperatura del molde demasiado baja.
- Ø Diseño inadecuado del molde.
- Ø Sistema de eyección mal localizado.
- Ø Empacado excesivo de plástico en el molde.

- *DEFORMACIÓN DE LA PIEZA DURANTE SU EYECCIÓN:*

Esto se debe esencialmente a que la pieza no se ha dejado enfriar lo suficiente antes de ser removida del molde. En este caso los eyectores actúan sobre la pieza moldeada, todavía suave, estirándola o comprimiéndola, provocando un flujo interno en la pieza lo que ocasiona su deformación.

Causas posibles que generan la deformación de la pieza durante la eyección:

- Ø Tiempo de enfriamiento inadecuado.
- Ø Temperatura de molde inadecuada.
- Ø Temperatura de material demasiado alta.
- Ø Rapidez de la eyección demasiado alta.
- Ø Tamaño y localización del sistema de eyección demasiados altos.

5. PET

El descubrimiento del polietilentereftalato, mejor conocido como PET, fue patentado como un polímero para fibra por Jr Winfield y J. Dikson¹⁸ en 1941. Además de su expansión en una amplia gama de películas, el PET ha presentado un significativo progreso en el campo de las aplicaciones como material para la fabricación de botellas y envases en los que se manejan gran variedad de productos como son bebidas carbonatadas, licores, cervezas, sidras, etc.

Como la mayoría de los polímeros termoplásticos, el camino mas fácil de obtención del PET es por condensación. Para obtener un polímero de cadena larga que contiene cerca de 100 unidades repetidas se somete a una policondensación. Conforme la cadena va alargándose, existe un aumento en el peso molecular el cual va acompañado de un aumento en la viscosidad de la masa y otras ventajas asociadas, lo que proporciona una mayor resistencia mecánica.

Una vez que la longitud de la cadena es la adecuada, el PET se extruye a través de un dado de orificios múltiples para obtener un " espagueti" que se enfría en agua y una vez semisolido es cortado en un peletizador, para obtener así el granulado; este granulado presenta las siguientes características.

- Ø Es amorfo.
- Ø Posee un alto contenido de acetaldehído.
- Ø Presenta un bajo peso molecular.

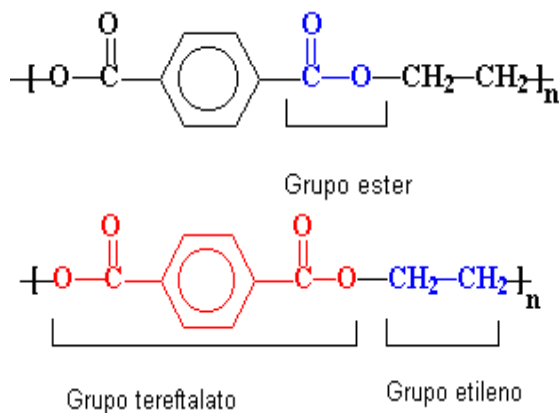


Figura 5.1 Estructura molecular del polietilentereftalato

Los grupos éster en la cadena de poliéster son polares, donde el átomo de oxígeno del grupo carbonilo tiene una carga negativa y el átomo de carbono del carbonilo tiene una carga positiva. Las cargas positivas y negativas de los diversos grupos éster se atraen mutuamente. Esto permite que los grupos éster de cadenas vecinas se alineen entre sí en una forma cristalina y debido a ello, dan lugar a fibras resistentes. El polímero de PET puede ser transformado en botella mediante un proceso llamado biorientación de preformas, las cuales son moldeadas en equipos de inyección. El moldeo de las preformas consiste en la inyección del polímero fundido en la cavidad del molde hasta llenarlo. Una vez lleno, la resina del polímero fundido es enfriada rápidamente para obtener así una pieza con excelente transparencia, libre de deformaciones y una magnífica exactitud dimensional lo cual es esencial para obtener botellas de excelente calidad.

MERCADO

El PET es el polímero que ha tenido mayor crecimiento a escala mundial; la segmentación y consumo, de acuerdo al uso indica que las fibras y los envases representan el 90% del consumo de PET mundial.

El consumo mundial de PET para envases es del orden de 8000 millones de toneladas por año.

PROPIEDADES DEL PET.

Las propiedades varían en función de su peso molecular y el grado de cristalinidad.

La siguiente tabla muestra las propiedades mas importantes del PET.

<i>Propiedades</i>	<i>Estado</i>	<i>Valor</i>
Densidad		
	Amorfo	1.33 g/cm ³
	Cristalino	1.4 g/cm ³
Viscosidad intrínseca		
	Baja	0.7-0.75 dL/g
	Media	0.751-0.790 dL/g
	Alta	0.791-0.840 dL/g
	Especial	0.900-1.00 dL/g
Punto de fusión		240-255 °C
Temperatura de transición vítrea		75°C
Temperatura máxima de cristalización		165 °C
Temperatura de apelmazamiento		230-240 ° C
Grupos carboxilos		20-40 meq/kg
Resistencia a la tensión		
	Orientado	7000 psi
	Orientado axial	11000 psi

	Orientado radial		24000 psi
Permeabilidad	agua	O ₂	CO ₂
No orientado	4cm ³ /100plg ² /24h/1atm	10cm ³ /100plg ² /24h/1atm	40cm ³ /100plg ² /24h/1atm
Orientado	2cm ³ /100plg ² /24hr/1atm	5cm ³ /100plg ² /24h/1atm	30cm ³ /100plg ² /24h/1atm
Elongación a la ruptura			50-70 %
Resistencia al impacto			90 kg/cm
Resistencia dieléctrica			180 kV/mm

Tabla 5.1 Principales propiedades del PET.⁽¹²⁾

ESTABILIDAD QUIMICA.

En la siguiente tabla se aprecia la estabilidad química que posee el PET. Al ser atacado por agentes químicos.

<i>Agente</i>	<i>Efecto</i>
Agua a ebullición	Sin efecto
Acido fosfórico	Sin efecto
Acido sulfúrico	Se disuelve
Álcalis	Moderada
Hidrosulfito de sodio	Moderada
Agentes oxidantes	Estable
Líquidos orgánicos	Estable
Fenoles	Se disuelve
Fenoles clorinados	Se disuelve
Resistencia a la acción de polillas y microorganismo	Resistente
Resistencia a la luz solar(a través de vidrio)	Resistente
Resistencia a la luz UV	Moderada

Tabla 5.2 Estabilidad química del PET⁽¹²⁾

El PET tiene tres estados estructurales a nivel molecular que son: Cristalino, amorfo y orientado.

El PET cristalino tiene alta resistencia a la tensión y buena estabilidad térmica, pero es opaco y quebradizo, la luz es difractada por cristales ordenados aleatoriamente, los cuales le dan un color blanco al plástico, la elasticidad se reduce debido al alto nivel de enlaces intermoleculares que evita el movimiento de las cadenas. Por esta razón el PET cristalino no es deseable en el proceso de inyección de preformas. Por lo que se utiliza el PET amorfo, el cual es inyectado y después enfriado por debajo de 88°C muy rápidamente, de manera que los cristales no tengan tiempo de crecer.

El PET es totalmente amorfo en su fase fundida líquida, esto es a temperaturas por arriba de 240 °C, forma cristales a una velocidad que va aumentando hasta alcanzar la temperatura de máxima velocidad de cristalización que es alrededor de los 165 °C, después la velocidad de cristalización disminuye hasta una temperatura de mínimo crecimiento de cristales la cual ocurre a 88°C. Como lo muestra la figura 5.2

MODIFICACIONES PRÁCTICAS DE LA RESINA DE PET.

Con la finalidad de mejorar las características y procesabilidad del PET se le adicionaron compuestos a sus materias primas(etilenglicol y acido tereftálico).

En sustitución del etilenglicol se le agregan los siguientes dioles:

Dietilenglicol

1,4 butanodiol

1,4 ciclohexano dimetanol

El dietilenglicol y el butanodiol tienen la particularidad de reducir el punto de fusión del PET permitiendo inyectar con menos temperatura, por consiguiente menos degradación del material.

El 1,4 ciclohexano dimetanol agregado en un 30% en base mol de glicol produce con el acido tereftálico un polímero llamado PETG, el cual no cristaliza por lo que ofrece una excelente combinación de claridad, dureza y resistencia.

El PEN (polietilennafalato) tiene una [temperatura de transición de vítrea](#) más alta que el PET. Esa es la temperatura a la cual el polímero se ablanda. La temperatura de transición vítrea del PEN es lo suficientemente alta como para poder soportar el calor del lavado esterilizante de las botellas para productos calientes. El PEN soporta tan bien el calor que no es necesario que la botella tenga que estar hecha exclusivamente con este material. Con sólo mezclar una pequeña cantidad de PEN con el PET se logran botellas capaces de resistir el calor mucho mejor que si estuvieran hechas sólo de PET.

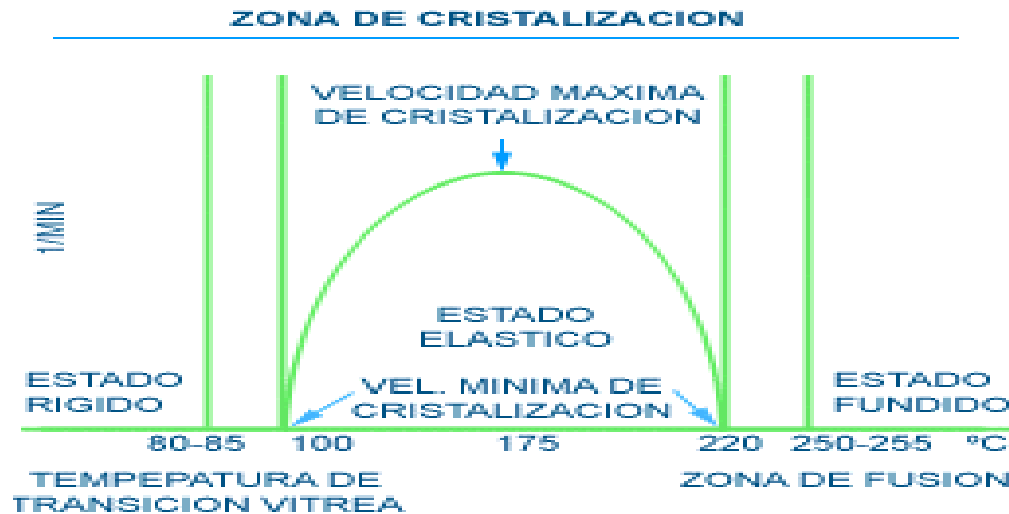


Figura 5.2 Temperaturas de cristalización del PET⁽¹⁹⁾

COMPARACION DE PROPIEDADES DE ACUERDO AL ESTADO ESTRUCTURAL.

En la siguiente se tabla muestra la variación de propiedades que presenta el PET, dependiendo del estado estructural en que se encuentre.

Propiedad	Amorfo	Orientado	Cristalino
Apariencia	Clara	Clara	Opaco blanco
Resistencia a la tensión	Moderada	Alta	Moderada
Fragilidad	Baja	Baja	Alta
Plasticidad	Alta	Baja	Baja
Estabilidad termica	Moderada	Baja	Alta

Densidad(gr/cm^3)	1.33	1.37	1.4
-------------------------------------	------	------	-----

Tabla 5.3 Variación de propiedades en el PET. en función del estado estructural⁽¹²⁾

5.1 VISCOSIDAD INTRINSECA.

La Viscosidad Intrínseca (V.I.) es una medida indirecta del peso molecular, o sea, del tamaño promedio de moléculas que definen al polímero. La Viscosidad Intrínseca de uso general es de 0.8 ± 0.02 dL/g, como lo muestra la figura 5.3, que corresponde aproximadamente a 125 unidades repetidas por molécula y un peso aproximado de 24,000 g/mol. Cualquier disminución en la viscosidad del polímero en su paso de granulado a preforma, significará una reducción del peso molecular. Bajo condiciones controladas de secado y moldeo, la pérdida de viscosidad no deberá ser mayor de 0.03 dL/g. Cualquier pérdida superior a este nivel trae como consecuencia un decremento en la transparencia de la preforma debido a un incremento en la velocidad de cristalización, acarreado la pérdida de las propiedades mecánicas del envase, particularmente la resistencia al impacto y la carga vertical aplicada sobre la tapa

<i>Viscosidad intrínseca(dL/g)</i>	<i>Peso molecular</i>	<i>Número de unidades repetidas</i>
0.6	18000	95
0.7	23000	120
0.8	27000	145

Tabla 5.4 Relación del peso molecular del PET con la viscosidad intrínseca⁽¹²⁾

La pérdida de la viscosidad se debe básicamente a una degradación hidrolítica ocurrida durante el estado de fusión que es donde el agua a niveles superiores de 40 ppm tiene una acción destructiva del polímero.

Una segunda causa de la caída de la Viscosidad Intrínseca es la degradación térmica durante la fusión del polímero para inyectarlo. De ahí que se deba emplear un perfil de temperaturas de moldeo y velocidades de corte lo más suave posible que permitan la obtención de preformas claras, transparentes y libres de distorsión.

5.2 NIVEL DE ACETALDEHIDO:

El acetaldehído está formado por una degradación térmica del PET y debido a que tiene olor y sabor muy notorios, en caso de que migrara de las paredes de la botella a la parte interna de la misma, puede afectar el perfil de sabor del producto.

El acetaldehído (CH_3CHO) se genera en pequeñas cantidades durante el proceso de fusión de PET; la cantidad de agua presente no influye en la generación de acetaldehído. Durante la fabricación del polímero, el nivel de acetaldehído se controla perfectamente, entregando un producto al mercado con un contenido de 4 ppm como máximo.

Su formación ocurre por la siguiente reacción



Determinación de la viscosidad intrínseca final del PET a partir de la viscosidad intrínseca inicial y el porcentaje de agua.

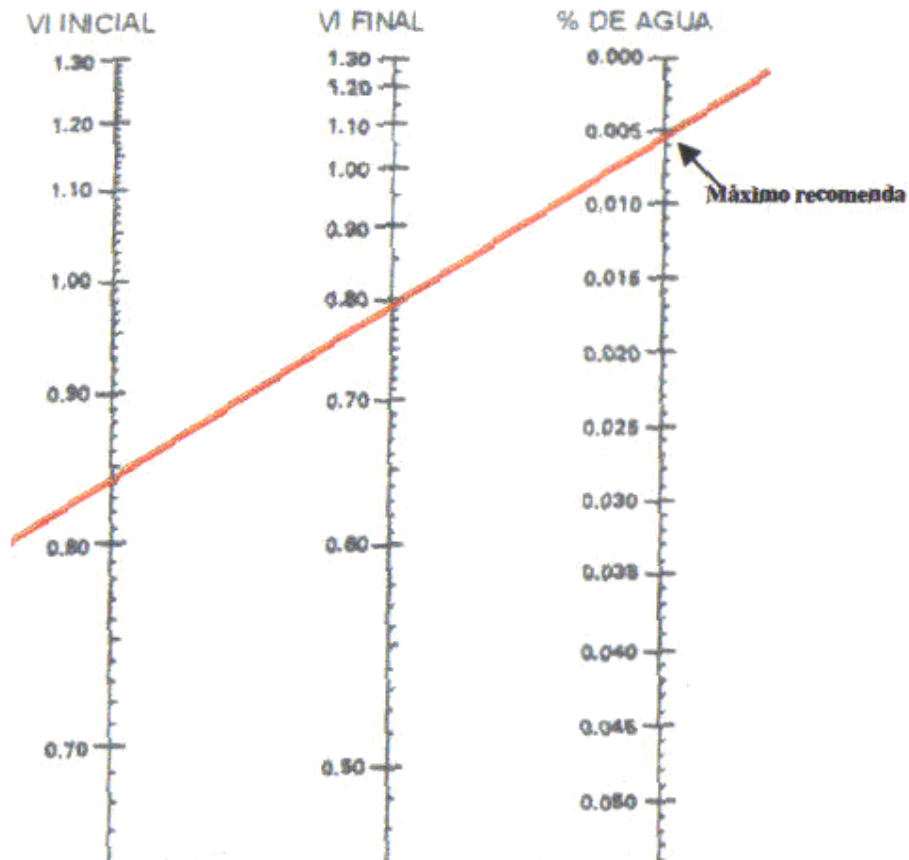


Figura 5.3 Efecto teórico de la humedad en la viscosidad intrínseca¹⁶

El acetaldehído es un líquido volátil incoloro (punto de ebullición 20.8°C) y que se distingue por su olor a frutas.

Debido a la facilidad que tiene el acetaldehído de emigrar desde la pared de la botella y difundirse en el contenido de la misma, la generación de este producto debe ser cuidadosamente controlada durante la inyección de la preforma. El agua mineral así como las bebidas de cola son particularmente sensibles al acetaldehído.

El acetaldehído se genera por la degradación térmica de las moléculas de PET mientras se encuentra en estado de fusión.

El efecto de la temperatura y el tiempo de residencia del polímero dentro del cañón, con relación a la generación de acetaldehído, se puede observar a continuación.

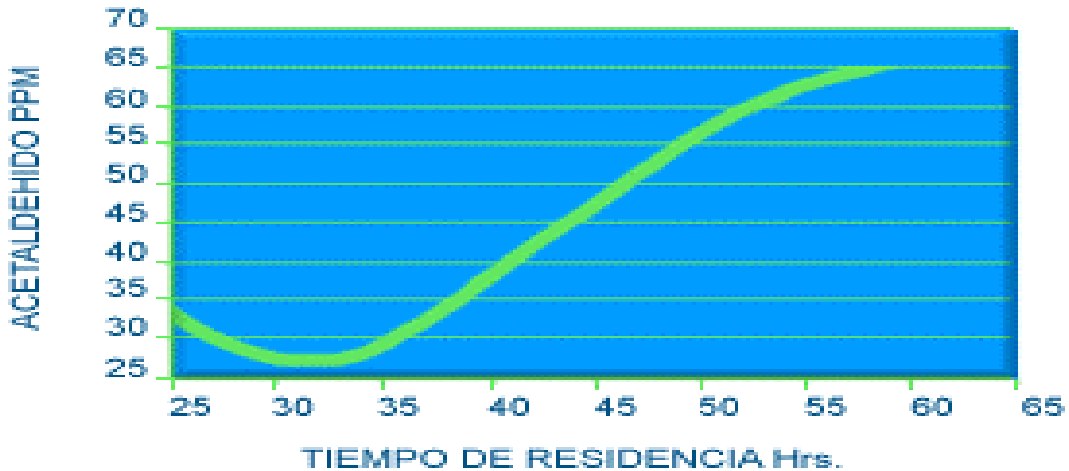


Figura 5.4 Efecto del tiempo de residencia en la generación de acetaldehído⁽¹⁹⁾

En la figura 5.5 se muestra cómo el acetaldehído residual disminuye al aumentar la velocidad del husillo, hasta llegar a una velocidad en la cual si ésta aumenta la generación de acetaldehído residual aumenta.

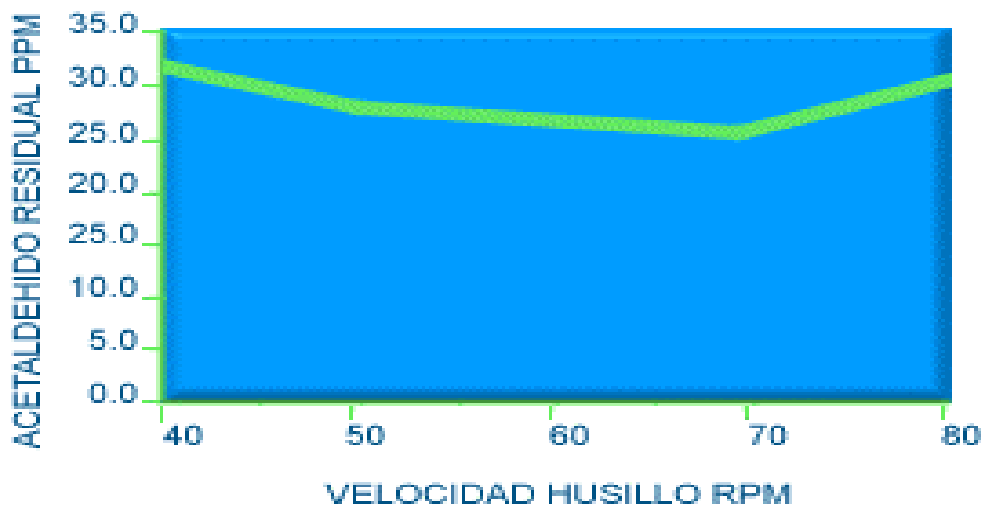


Figura 5.5 Efecto de la velocidad del husillo en la generación de acetaldehído⁽¹⁹⁾

Los factores para reducir la formación de acetaldehído son:

- Ø Mínima temperatura de moldeo.
- Ø Mínima permanencia en estado fundido, ciclos bajos.

En la siguiente gráfica se puede observar cómo se incrementa la generación de acetaldehído residual al aumentar la temperatura.

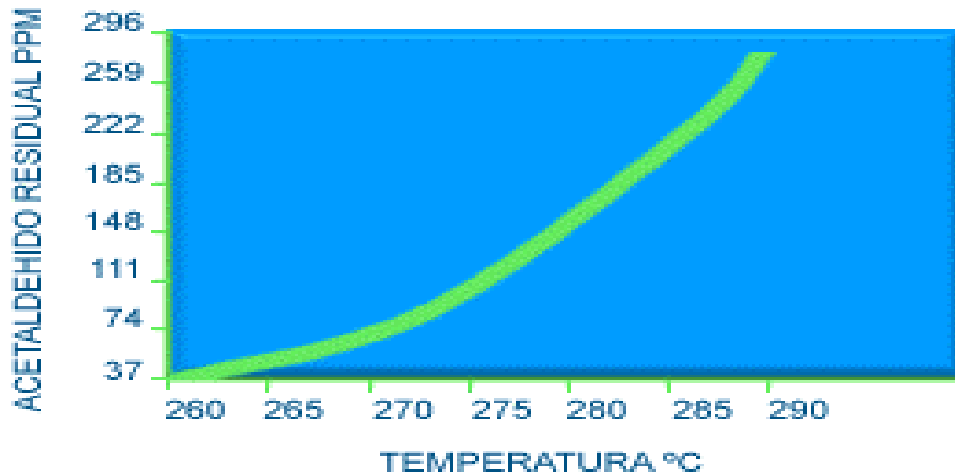


Figura 5.6 Efecto de la temperatura en la generación de acetaldehído residual.⁽¹⁹⁾

5.3 TRANSPARENCIA DE LA PREFORMA

Una de las propiedades más a favor que tiene el PET es su transparencia, la cual se puede comparar con la del vidrio.

La transparencia de la preforma está relacionada directamente con el grado de cristalinidad del polímero (el PET es transparente cuando tiene una estructura molecular amorfa y será opaco cuando esté cristalizado). Cuando el PET se encuentra a una temperatura entre los 85°C y los 250°C, las moléculas tienden a alinearse para formar una estructura cristalina. El PET alcanza un grado visible de cristalinidad en menos de un minuto de tal manera que el polímero debe ser enfriado dentro del molde lo más rápido posible.

La velocidad de cristalización es muy lenta en ambos extremos de este rango y es más rápida en el centro, o sea entre 140°C y 180°C. En el punto más alto de la curva de cristalización, alrededor de 175°C.

Debido a que la conductividad térmica del PET es relativamente baja, el contenido de calor en el centro de la pared de la preforma es el principal contribuyente para tener una determinada cristalinidad en la pieza.

FACTORES QUE AFECTAN LA TRANSPARENCIA

La temperatura de la masa durante el moldeo por inyección tiene un efecto significativo en la transparencia de la preforma. Mientras más elevada sea la temperatura se tendrá una mayor cantidad de cristales fundidos. Sin embargo, no se puede elevar la temperatura en forma indiscriminada ya que se corre el riesgo de generar una cantidad indeseable de acetaldehído.

Lo mismo ocurre con la viscosidad intrínseca, ya que entre mayor sea el peso molecular del polímero existe una menor tendencia a la cristalización, pero debido a que se requiere una mayor temperatura de fusión, se ve incrementada la generación de acetaldehído.

Si se utiliza alta presión de inyección, las moléculas pueden alcanzar cristalización por efecto de presión, apareciendo en forma de una tira blanca.

5.4 SECADO

Al procesar la resina PET, el paso más importante es el secado, puesto que el PET es altamente higroscópico y al exponerlo a un ambiente húmedo, el polímero absorbe inmediatamente la humedad.

La presencia de humedad a altas temperaturas de fusión provoca la disminución de la viscosidad intrínseca; esto produce una degradación en las propiedades físicas de la preforma:

- Ø **Cristalización rápida:** la resina fundida se pega al molde y se obtienen preformas con nubosidades.
- Ø **Mayor relación natural de estiramiento:** la preforma presenta paredes muy delgadas y de menor resistencia.
- Ø **Envejecimiento acelerado:** se obtienen preformas frágiles, por lo que se envejecen más rápido.

El proceso de secado elimina la humedad, reduce el nivel de acetaldehído, ayuda a fundir más rápidamente la resina y mantiene un nivel aceptable en la viscosidad intrínseca.

Debido a que la resina PET absorbe humedad, requiere de un proceso de secado antes de ser moldeada por inyección. A temperaturas superiores al punto de fusión, el agua presente hidroliza rápidamente al polímero, reduciendo su peso molecular así como sus propiedades características. Existe, sin embargo, un límite de temperatura máxima de secado sin causar una caída excesiva de viscosidad intrínseca (V.I.). En la práctica, desde el punto de vista económico y de eficiencia, las mejores condiciones de secado se alcanzan entre 165°C y 170°C.

REQUERIMIENTOS PARA UN BUEN SECADO

- Ø Temperatura correcta de secado.
- Ø La temperatura del chip deberá estar entre 150°C y 160°C.
- Ø Se usará aire seco con un punto de rocío de -25 a -180°C
- Ø Una relación de flujo de 1 pie³/min de aire seco/ libra/h de PET a secar
- Ø Este no debe exceder de 180°C, medido a la entrada del aire del secador.
- Ø Adecuado flujo de aire de secado a través del chip.
- Ø Tiempo de residencia del chip (tiempo de secado) de PET no sea menor a 4 horas, siendo común trabajar entre 6 y 8 horas

La siguiente grafica da una semblanza de la temperatura a la que se debe de secar el PET y las horas necesarias para no sobrepasar el grado de humedad máximo en la resina.

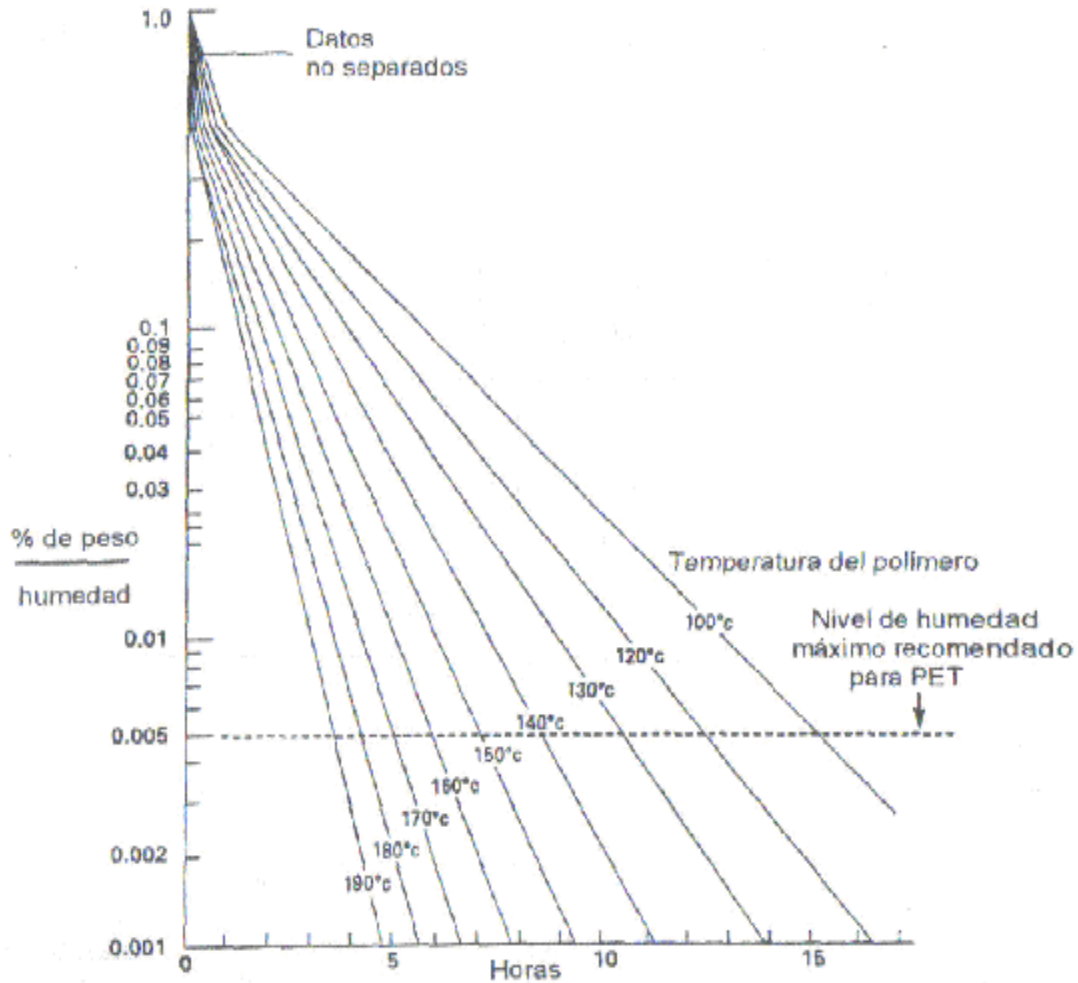


Figura 5.7 porcentaje de peso/humedad contra tiempo de secado de la resina⁽¹⁶⁾

REQUERIMIENTOS DEL AIRE DE SECADO

Adicionalmente, si la humedad ha sido removida a temperaturas de secado mayores a 180°C se puede conducir a una degradación termo-oxidativa donde se rompen las cadenas del polímero, produciendo subproductos indeseables con la consecuente disminución de las propiedades físicas. Entre los subproductos se encuentra la generación de acetaldehído el cual ocasiona cambios físicos que pueden producir una apariencia turbia-blanquecina en las preformas (haze) debido a la disminución de Viscosidad Intrínseca, así como una tonalidad amarillenta producida por la degradación. No obstante se recomienda efectuar el secado entre 165°C y 170°C, con un tiempo entre 4 y 8 horas hasta lograr que el contenido de humedad del chip sea de un máximo de 40 ppm. Estas condiciones minimizarán las interacciones entre los

procesos involucrados

La influencia de la humedad del gas de secado a una temperatura dada es un factor que debe ser también considerado. De aquí se puede observar que el punto de rocío, el cual es una medida indirecta del contenido de humedad del gas de secado, debe ser menor a -30°C , condición que evita una elevada caída en la viscosidad sin disminuir la eficiencia del secado. En la práctica, el punto de rocío comúnmente usado para el aire es de -40°C .

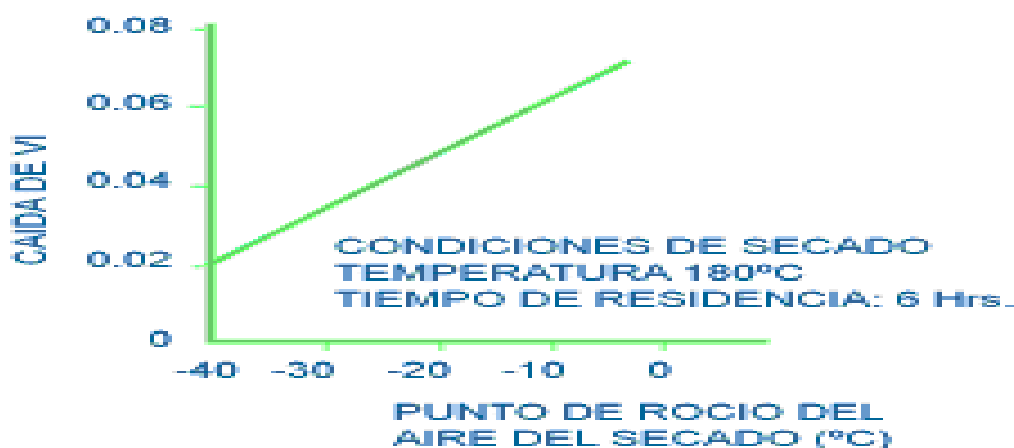


Figura 5.8 Dependencia de la caída de viscosidad intrínseca con el punto de rocío⁽¹⁹⁾.

5.5 ABSORCIÓN DE HUMEDAD

El PET, en forma sólida, absorbe humedad del medio ambiente (semejante a un desecante). Así, durante el almacenaje, la resina absorberá humedad hasta alcanzar el equilibrio. Este valor puede ser tan alto como 0.6% en peso, dependiendo de las condiciones del lugar donde sea almacenado. En la práctica, la resina no absorbe niveles de humedad mayores a 0.2% en peso si se mantiene en un lugar cubierto y durante períodos cortos de tiempo. Sin embargo, para fabricar un buen producto de PET, se requiere reducir la humedad a menos de 0.004% (40 partes por millón) antes de inyectar el material. Existe absorción de humedad del medio ambiente tan pronto como el granulado de PET sale del proceso final de su elaboración. La velocidad de absorción depende de cuatro factores para un tamaño específico de recorte. Estos son: tiempo, temperatura, humedad atmosférica (punto de rocío) y la cristalinidad del chip. EL PET amorfo absorbe humedad más rápidamente que el PET cristalino.

La siguiente tabla nos muestra la importancia de mantener la resina en un lugar seco, para poder mantener un % de humedad absorbida por la resina bajo.

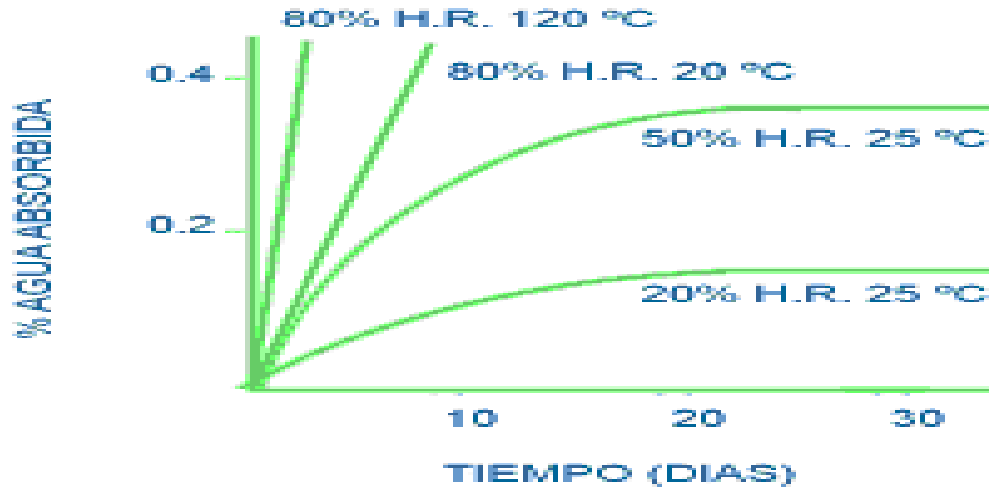


Figura 5.9 Influencia de la temperatura sobre la humedad absorbida⁽¹⁹⁾

HUMEDAD RETENIDA EN EL CHIP SECADO

Si se mantiene una humedad entre 30-50 ppm de agua en la resina, se podrá mantener una caída de viscosidad baja, como lo muestra la siguiente figura.

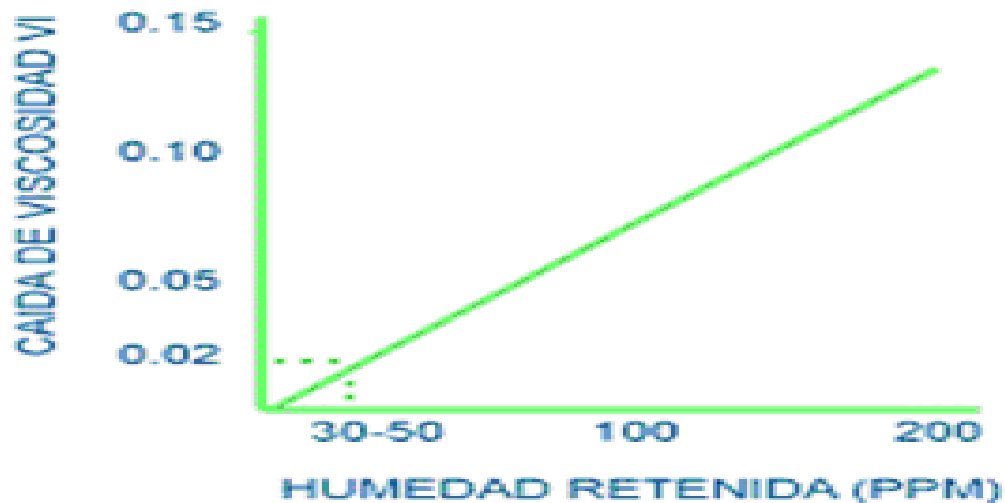


Figura 5.10 Relación entre caída de viscosidad y humedad retenida⁽¹⁹⁾

5.6 EL PET EN LA FABRICACIÓN DE PREFORMAS

Las preformas son diseñadas para una botella determinada, de acuerdo a una relación geométrica que considera las relaciones de estiraje axial y radial.

El factor de estirado axial (γ) es la relación entre la longitud de la porción soplada de la botella y la longitud de la porción soplada de la preforma; cuántas veces se estiró la preforma para alcanzar la longitud estirada de la botella.

Las relaciones recomendadas varían de 2 a 3, dependiendo de la aplicación.

El factor de estirado axial (x) es la relación entre el diámetro de la botella y el diámetro de la preforma, por lo general se recomienda un rango de 3 a 4.

La relación de biorientación (BO) es el resultado de multiplicar las relaciones de estirado axial y el estirado radial.

El espesor de la preforma se determina multiplicando la relación de biorientación, por el espesor de la pared de la botella soplada.

Las relaciones de biorientación que se sugieren son:

<i>Concepto</i>	<i>Bebida con/sin gas</i>	<i>Llenado en caliente</i>
Relación de estirado axial	2.8 –3.1	2.6-2.9
Relación de estirado radial	3.5-4.2	3.3-3.6
Relación de biorientación	9.8-13.1	9.1-10.4

Tabla 5.5 Relación de biorientación.⁽¹²⁾

Espesores de la preforma por orden de gramaje.

<i>Preforma (g)</i>	<i>Espesor (mm)</i>	<i>Preforma (g)</i>	<i>Espesor (mm)</i>
19	2.72	25	3.39
20	3.4	27.5	4.14
21	3.29	28	4.36
23	3.2005	42	3.39
24.6	3.39	47	3.7

Tabla 5.6 Relación entre peso y espesor de una preforma.⁽¹²⁾

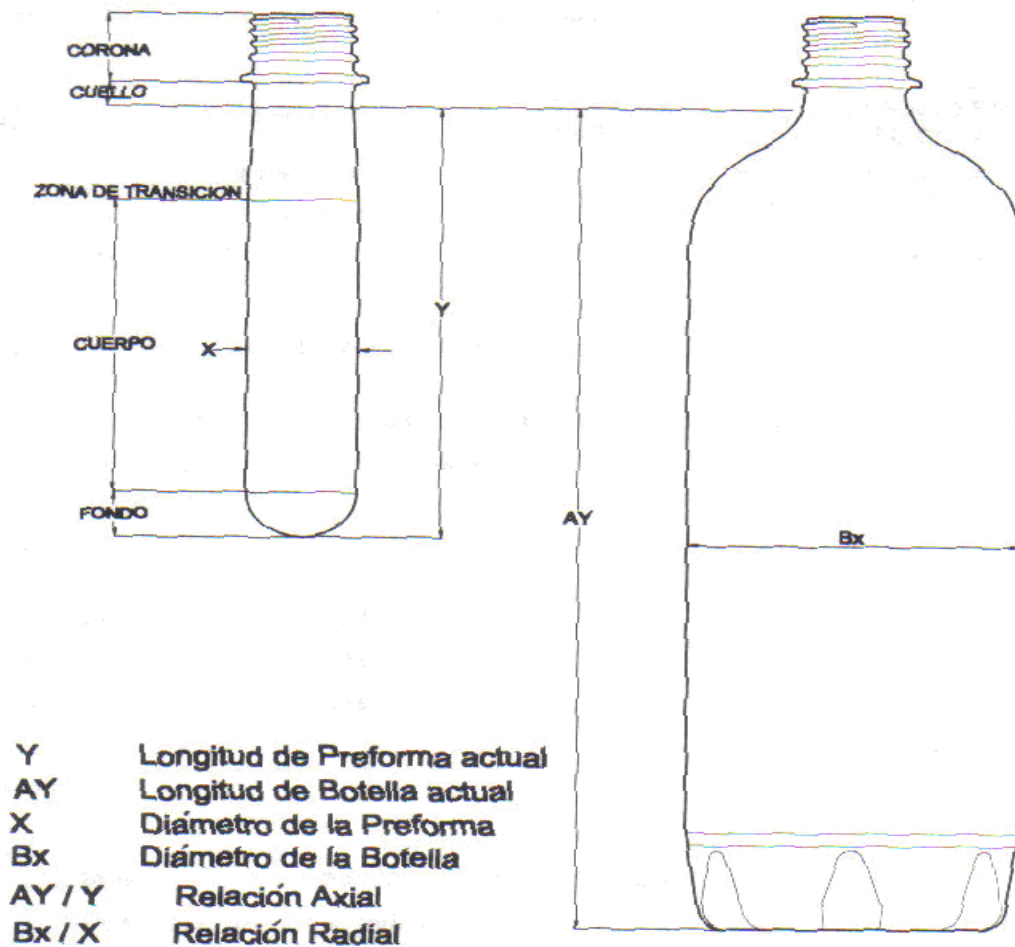


Figura 5.11 Relación entre una preforma y un envase soplado de PET.⁽¹²⁾

DESCRIPCION DEL PROCESO

El proceso de inyección puede ser dividido en las siguientes fases:

- Ø Secado del granulado hasta lograr que el contenido de humedad sea menor a 40 ppm.
- Ø El material seco se alimenta a la tolva de la máquina de inyección.
- Ø El molde se cierra en varias etapas.
 - ◆ Alta velocidad y baja presión, hasta antes de que se toquen las cavidades del molde.
 - ◆ Baja velocidad y baja presión hasta que las cavidades hagan contacto total.
 - ◆ Alta presión que genera la fuerza necesaria para evitar que el molde se abra durante la inyección.
- Ø El material es fundido por:

- ◆ Calor generado por las resistencias eléctricas ubicadas sobre el diámetro exterior del "cañón" y cuya temperatura se fija de 20 a 30°C arriba del punto de fusión del PET.
 - ◆ Calor debido a la fricción que genera la rotación de husillo.
 - ◆ En la zona de compresión del husillo existe una disminución entre el tornillo y el "cañón" lo que genera el calor por fricción.
- ∅ El husillo sigue girando a 80-150 RPM hasta que se acciona un micro que determina la cantidad de material que ha de alimentarse en la punta del cilindro de inyección. Para evitar que el material plastificado empuje al husillo hacia atrás se aplica una fuerza en sentido contrario(contrapresión).
- ∅ Al finalizar la dosificación, el husillo retrocede ligeramente para evitar que el material fluya hacia fuera de la boquilla, antes de ser inyectado dentro del molde. Este proceso se le llama descompresión.
- ∅ Por medio de un pistón hidráulico, se mueve el pistón de inyección que inyecta el material al molde. Terminada la inyección se ejerce una presión sobre el material por medio de un pistón que generalmente es menor a la de inyección y sirve para contrarrestar las contracciones del material debidas al enfriamiento, esta acción se le conoce como presión de sostenimiento.
- ∅ El material se enfría rápidamente a temperaturas menores a 88°C para evitar la formación de cristales en las preformas.
- ∅ Una vez terminado el tiempo de enfriamiento, se abre el molde y por medio de un mecanismo de placas expulsoras y con ayuda de un robot se retiran las preformas del molde y la máquina reinicia otro ciclo.

5.7 PROBLEMAS MÁS COMUNES EN LA INYECCIÓN DE PREFORMAS DE PET

- *CONTAMINACION EXTERNA*

Son partículas al azar que se encuentran en el cuerpo de la preforma, causada por material degradado o materia extraña que se inyectó en la cavidad.

Soluciones recomendadas.

- ∅ Disminuir las temperaturas de extrusora, cañón, distribuidores y boquillas.
- ∅ Reducir el calor de fricción por presión en el extrusor al reducir la velocidad del tornillo, la presión de contrapresión y/o velocidad de transferencia y/o inyección.
- ∅ Purgar el cilindro extrusor y la cámara de inyección con material nuevo antes de arrancar la máquina.
- ∅ Revisar todo para detectar resina degradada, haciendo inspección del secador y revisando que opera apropiadamente: Temperatura, flujo de aire, punto de rocío y tiempo de residencia de la resina.

- *BURBUJA EN EL CUERPO*

Son huecos o espacios en el cuerpo de la preforma.

Posibles causas.

- ∅ Gas o aire atrapado en el material plastificado.
- ∅ Se incorpora aire por exceso de descompresión.

- Ø Plastificación prematura de la resina por exceso de temperatura en la zona de alimentación.
- Ø Humedad en la resina.
- Ø Excesiva caída de la viscosidad intrínseca en el material plastificado.
- Ø Alimentación inadecuada del tornillo debido a bloqueo en la garganta.
- Ø Acumulación de gases por infundibles.

Soluciones recomendadas

- Ø Aumentar la presión de compresión del tornillo de extrusor.
- Ø Ajustar la posición de retroceso del tornillo extrusor para proporcionar suficiente colchón.
- Ø Reducir la descompresión al reducir la carrera de retroceso del pistón de inyección y/o del tiempo de sostenimiento en la carrera de retroceso.
- Ø Aumentar las temperaturas del extrusor.
- Ø Incrementar la temperatura por fricción, aumentando la velocidad de rotación del extrusor y la contrapresión del extrusor.

- *MARCAS DE QUEMADURAS*

Representa rasgaduras negras o cafés, habitualmente encontradas en el área del punto de inyección de preforma o en el cuerpo de la preforma cuando se asocian con marcas de estrías causadas por material degradado que se inyectó en la cavidad del molde.

Posibles causas.

- Ø Marcas de quemadura causadas por material degradado.
- Ø Material quemado que se quedó en el extrusor y en el distribuidor del molde.

Soluciones recomendadas.

- Ø Disminuir las temperaturas del distribuidor del molde, de las puntas de tobera, de las calefacciones de máquina.
- Ø Disminuir temperaturas en el extrusor por medio de la disminución de la velocidad de giro, de la contrapresión, de la velocidad de transferencia y/o inyección.
- Ø Purgar el cilindro de extrusor y la cámara de inyección con material fresco antes de arrancar la máquina, hasta que toda la resina decolorada haya sido purgada.

- *RAFAGA DE COLOR*

Se debe a la mezcla no homogénea de material PET plastificado y colorante que aparece como rasgaduras de color en el cuerpo de la preforma.

Posibles causas.

- Ø Mala mezcla del aditivo colorante con los gránulos de PET virgen.
- Ø El material plastificado no es suficientemente homogéneo durante el proceso de plastificación:

- Ø Pérdida de presión inicial durante la transferencia debido a insuficiente colchón en el extrusor.

Solución recomendada

- Ø Revisar que la alimentación del colorante sea consistente en la unidad de dosificación.
- Ø Revisar que la distribución del colorante sea apropiada en toda la zona de alimentación de resina y, si fuera necesario, utilizar un premezclador de colorante antes de entrar el material a la garganta del extrusor.
- Ø Revisar que la uniformidad del aditivo de colorante sea constante.

- *VARIACION EN EL ESPESOR DE PARED*

Se representa por un diámetro de espesor de pared desigual en alguna parte del cuerpo de la preforma.

Posibles causas.

- Ø Desvió del corazón de molde durante la inyección debido a elevada presión de inyección.
- Ø Los corazones del molde están mal alineados con las cavidades.

Soluciones Recomendadas.

- Ø Reducir la presión y velocidad de inyección.
- Ø Disminuir la presión y tiempo de sostenimiento.

- *REBABAS*

Formación de delgadas ranuras de material entre superficies adyacentes de componentes de molde (por ejemplo: entre corona y cavidad y anillos de bloqueo).

Posibles causas.

- Ø Exceso de material inyectado.
- Ø Viscosidad intrínseca del material demasiado baja.
- Ø La fuerza de cierre es insuficiente.
- Ø Ligera brecha entre las líneas de unión y ventilación.

Soluciones recomendadas.

- Ø Disminuir la dosis de inyección.
- Ø Disminuir la presión de inyección y/o sostenimiento.
- Ø Aumentar la posición de transición de inyección.
- Ø Reducir las temperaturas del distribuidor del molde y de la calefacción de la máquina.
- Ø Disminuir la velocidad de inyección para permitir que el material plastificado del frente de inyección se enfríe durante el llenado de la cavidad.
- Ø Reducir el tiempo de calentamiento del sistema durante el arranque de máquina.

- Ø Asegurarse de que la viscosidad de la resina virgen y de la preforma estén dentro de las especificaciones, y si fuera necesario corregirla.
- Ø Aumentar las toneladas de cierre del molde.

- *CRISTALIZACION EN EL PUNTO DE INYECCION*

Se debe a las formaciones cristalinas blancuzcas que aparecen en el punto de inyección en preformas.

Posibles causas.

- Ø Cristalización inducida por exceso de tensiones en el punto de inyección.
- Ø La temperatura del material en el área del punto de inyección está demasiado fría debido a un tiempo excesivo de contacto de la aguja de la válvula con la superficie fría del molde.
- Ø Material frió en la punta de la boquilla.
- Ø Deficiente pos-enfriamiento

Soluciones recomendadas.

- Ø Aumentar la temperatura de la punta de boquilla.
- Ø Reducir el tiempo que está inmóvil el material plastificado en el proceso.
- Ø Revisar el área de la punta de boquilla de inyección y del punto de inyección en el molde para detectar cualquier obstrucción.
- Ø Revisar que la aguja de la válvula este abriendo apropiadamente
- Ø Reducir la presión de sostenimiento.
- Ø Aumentar el tiempo de descompresión aumentando la carrera del pistón de inyección y/o el tiempo de retroceso.
- Ø Disminuir caudal y/o aumentar temperatura de agua de enfriamiento.
- Ø Aumentar temperaturas de boquillas.
- Ø Revisar y cambiar si fuera necesario las bandas calefactoras de las boquillas del molde.

- *HUNDIMIENTOS EN EL PUNTO DE INYECCION*

Son depresiones que se dan en la superficie externa del domo de la preforma, alrededor del punto de inyección, debido a deformaciones cuando se expulsa de la cavidad.

Posibles causas.

- Ø La preforma se queda atorada en la cavidad del molde debido a excesivas presiones de sostenimiento.
- Ø La preforma se queda atorada en la cavidad del molde debido a insuficiente descompresión.
- Ø La preforma se queda atorada en la cavidad del molde debido a insuficiente contracción del material inyectado.

Soluciones recomendadas

- Ø Reducir la presión de sostenimiento.
- Ø Aumentar la posición de transición de inyección.

- *ARRANQUE DE MATERIAL*

Es una sección de la preforma que se desgarrar y descarapela, iniciándose desde los vestigios del punto de inyección y extendiéndose hacia la superficie del domo esférico de la base de la preforma. Las peladuras se pegan a la superficie del molde. La sección que se desgarrar puede quedarse adherida en el interior del molde durante numerosos tiros, causando arranque de material en las subsecuentes moldeadas.

Posibles causas.

- Ø El punto de inyección de la preforma no está suficientemente solidificado para resistir la fuerza de expulsión de los vestigios solidificados del punto de inyección, lo que tiene como resultado la creación de peladuras progresivas.
- Ø En la continuación teórica de la superficie del domo de la preforma en el punto de inyección, el material plastificado no cierra adecuadamente debido a brechas crecientes entre el diámetro de la aguja de la válvula de la boquilla y el área de perforación del molde donde pasa el material plastificado (que está frío), resultado de componentes del molde dañados o desgastados.
- Ø La punta de inyección de la preforma no se despegó adecuadamente debido a vestigios de material solidificados en la brecha entre las agujas de las válvulas de las boquillas y el área de perforación del molde, resultado de una alta presión de material plastificado en preforma o un cierre inadecuado de la válvula de aguja.

Soluciones recomendadas.

- Ø Aumentar el tiempo de enfriamiento de la preforma. Hacer inspección del sistema de enfriamiento: presión, cantidad de flujo y temperatura del agua fría.
- Ø Hacer inspección de los canales de enfriamiento del molde para detectar contaminación y/o obstrucciones.
- Ø Reducir la presión de compactación del material (disminuir sostenimiento, aumentar posición de transición, presión y velocidad de inyección).

- *PREFORMAS TURBIAS*

Se representa como una apariencia blancuzca que se extiende uniformemente en todo el cuerpo de la preforma. También se puede observar como anillos blanquecinos radiales en el cuerpo de la preforma. Igualmente se puede localizar en las secciones de espesor de pared grueso en la preforma.

Posibles causas.

- Ø El nivel de humedad de la resina que se inyecta es muy alto, causando hidrolización durante el proceso de plastificación, lo que causa pérdida de viscosidad intrínseca.
- Ø Insuficiente temperatura y compresión durante el proceso de plastificación.

- Ø Pérdida de presión en el frente del material plastificado que se inyecta en el tiempo de transferencia debido a insuficiente colchón del extrusor.
- Ø El material plastificado no se enfría adecuadamente, permitiendo que se recristalice, debido a insuficiente enfriamiento del molde.

Solución recomendada.

- Ø Hacer inspección de la operación del secador temperatura, flujos de aire, punto de rocío y tiempo de residencia del material, revisar el nivel de humedad de la resina (deberá ser <50ppm).
- Ø Aumentar las temperaturas del barril extrusor.
- Ø Aumentar el calor por fricción aumentando la presión de contrapresión y la velocidad de giro del tornillo.

- *ALTO NIVEL DE ACETALDEHIDO*

El acetaldehído se forma por degradación térmica de la resina de PET. La cantidad de acetaldehído que se genera depende de las condiciones del proceso de moldeo y de la estabilidad térmica de la resina PET.

Posibles Causas.

- Ø Excesiva degradación de material plastificado.
- Ø Temperatura de alimentación de la resina al extrusor demasiado baja, lo que causa un exceso de calor por fricción durante el proceso de plastificación.
- Ø Alimentación de resina degradada.

Soluciones Recomendadas.

- Ø Reducir las temperaturas del extrusor y de la máquina en general, así como las del molde.
- Ø Reducir el calor por fricción disminuyendo la velocidad de giro de extrusor y la presión del extrusor.

6. ADITIVOS

ANTIOXIDANTES

La oxidación es un proceso que se inicia por la aparición de radicales libres formados por la acción de los rayos ultravioleta, los cuales reaccionan con el oxígeno del aire para formar radicales peroxi. Éstos, a su vez, pueden extraer un átomo de hidrógeno de las cadenas poliméricas para formar un hidroperóxido y otro radical libre. El ciclo se repite con la adición de otro oxígeno para el nuevo radical.

La oxidación se presenta por el fenómeno conocido como envejecimiento cambio de color (especialmente amarillamiento)

Apariencia superficial: endurecimiento, manchas, grietas y pérdida de brillo

Disminución en las propiedades mecánicas: resistencia al impacto. a la tensión y elongación, etc.

La efectividad de los antioxidantes depende de su estructura química y se distinguen en primarios y secundarios

Primarios

Son conocidos como antioxidantes rompedores de cadena, debido a que interrumpen el proceso de degradación, interceptando radicales libres, que son los encargados de reaccionar con el oxígeno del aire.

La mayoría de los antioxidantes primarios son fenoles con impedimento estérico o aminas aromáticas secundarias, ya que son capaces de reaccionar con radicales peroxi

Entre los antioxidantes primarios están:

tiobisfenoles

alquilidien-bisfenoles

alquifenoles

amonifenoles

aminas aromáticas secundarias

Secundarios

Se les conoce como destructores de peróxidos y son principalmente compuestos con azufre (ésteres), fosfitos. Ambos tienen la propiedad de reaccionar con hidroperóxidos para producir sustancias no radicales.

Antioxidantes secundarios

tioéteres

fosfitos

Compuestos fenólicos y tioéteres más comunes

Fenólicos:

AO1: octadecil 3-(3,5-diterbutil-4-hidroxifenil)-propionato

AO2: pentaeritritol tetrakis-3-(3,5 diterbutil-4-hidroxifenil)-propionato

AO3: 1,3,4-tris-(3,5-diterbutil-4-hidroxibencil)-isocianurato

AO5: 1,1,3-tris-(5-terbutil-4 hidroxil-2 metilfenil)-butano

Antioxidantes para el PET.

El PET es relativamente estable contra la autooxidación. En ocasiones se utilizan antioxidantes fenólicos para mejorar la estabilidad de larga duración. Un antioxidante de reconocida efectividad es el pentaeri tritil tetrakis-3(3,5 ditert butil-4 hidroxifenil)-propionato.

ESTABILIZADORES

La luz y el oxígeno provocan reacciones de degradación en el polietileno los cuales afectan la apariencia superficial como las propiedades mecánicas del producto.

Los estabilizadores de UV se incorporan al polietileno para protegerlo de la luz UV, ya sea absorbiendo la radiación, disipando energía o destruyendo estados excitados, grupos cromóforos, radicales libres. En este caso los más utilizados son las benzofenonas.

El polietileno utiliza concentraciones en el orden de 0.03-0.15% para el polietileno de alta densidad y menor al 0.1% para el polietileno de baja densidad se puede utilizar estabilizadores como el 2,6-diter butil-p-cresol (BHT), así como los fosfitos y fosfonitos.

Los absorbedores de UV

El mecanismo de protección de estos estabilizadores se basa en absorber la radiación UV y disiparla en forma menos dañina. Aparte de tener una alta capacidad de absorción deben ser muy estables a la luz para que no se consuman rápidamente, los más comunes son las hidroxibenzofenonas y benzotriazol.

PIGMENTACIÓN

Los pigmentos -como toda la materia- están formados por átomos que contienen electrones. Los electrones pueden saltar sólo entre determinados niveles. Cada salto de nivel tiene una energía que corresponde a una radiación. Cuando estas radiaciones están dentro del espectro visible dan lugar a que el ojo humano las interprete como color.

La utilización de concentrados de pigmento, como por ejemplo, Master Bach, (MB) permite la coloración con pigmentos de brillo perlado en todos los procedimientos de elaboración de termoplásticos y en todos los termoplásticos con los mejores resultados.

Es importante que el material de base del MB sea en lo posible químicamente análogo al producto final utilizado. Habitualmente, sólo aparecen problemas de distribución cuando el Master Bach y el granulado plástico poseen una viscosidad diferente.

Los pigmentos por su naturaleza pueden ser inorgánicos u orgánicos. Los pigmentos inorgánicos son básicamente óxidos metálicos; tienen matices menos brillantes, un buen poder cubriente y son más sólidos a la luz.

Los orgánicos son derivados de ftalocianinas y sus sales; sus colores son más intensos, pero

menos cubrientes y presentan menor solidez a luz. La aplicación de pigmentos orgánicos logra un tipo de acabado mucho más transparente que en donde intervienen típicos representantes inorgánicos, como el blanco (dióxido de titanio) que es la base prácticamente de cualquier tipo de terminación.

El poder cubriente de un pigmento está determinado por el tamaño de su partícula. Si dicha partícula es muy inferior a la longitud de la onda de la luz (menos de 0,5 micrones) estas partículas se comportan como si fuesen una solución de un colorante, donde la luz que no es absorbida por el pigmento llega a la superficie del producto, se refleja en él y vuelve al ojo del observador.

Si el tamaño de las partículas es mayor de 0.5 micrones, se consideran pigmentos cubritivos. Los pigmentos deben ser insolubles en agua, en disolventes orgánicos y en plastificantes para evitar posteriores migraciones con la consiguiente variación del matiz original del acabado.

Los pigmentos blancos mas comunes son óxidos inorgánicos, como el dióxido de titanio, el óxido de antimonio y el óxido de zinc. Se usan también otros compuestos inorgánicos blancos e insolubles, como el sulfuro de zinc, el albayalde (hidroxicarbonato, hidroxisulfato, hidroxifosfito o hidroxisilicato de plomo) y el sulfato de bario.

Los siguientes óxidos inorgánicos son pigmentos habituales para colores y los más comunes en la coloración del polietileno y del PET. Oxido de hierro (III), Fe_2O_3 (amarillo, rojo o color "tierra"; el óxido de cromo (III), Cr_2O_3 (verde).

Los cromatos de plomo, zinc, estroncio y níquel producen distintas gamas de amarillo y naranja.

7. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL MOLDEO POR INYECCIÓN

7.1 PRESIÓN DE INYECCIÓN

Es la presión requerida para vencer la resistencia que el material fundido produce a lo largo de su trayectoria, desde el cilindro de plastificación hasta el molde. La resistencia que se opone al flujo del material depende de:

- Ø La brusca reducción de sección correspondiente a la boquilla, los canales de alimentación y las entradas al molde.
- Ø La longitud de la trayectoria y la geometría más o menos complicada de la cavidad que debe producir la pieza moldeada.

A estas resistencias de naturaleza geométrica, que el polímero fundido encuentra a lo largo de su trayectoria, se debe agregar el aumento de viscosidad del material que progresivamente endurece durante el flujo.

La presión de inyección corresponde a la fase de llenado del molde.

7.2 PRESIÓN DE SOSTENIMIENTO

También llamada pospresión, es la encargada de mantener compactada la pieza dentro del molde. Si se considera que los polímeros en estado fundido son líquidos compresibles, se podrá comprender que la presión de sostenimiento determina el grado de contracción de la pieza moldeada solidificada bajo presión, los valores de contracción disminuyen en la medida que la presión aumenta, pero surge enseguida la dificultad para extraer la pieza que se deforma al no separarse de las paredes del molde con facilidad.

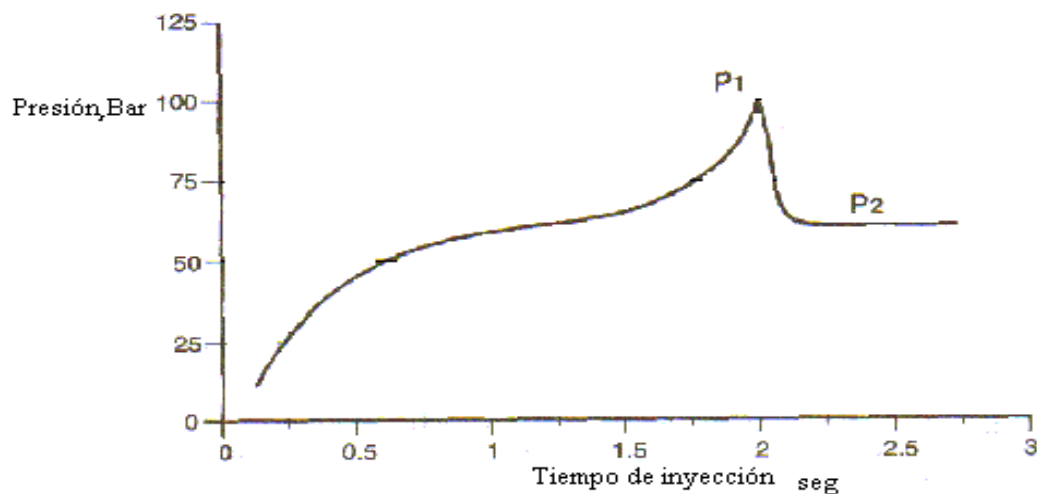


Figura 7.1 Comportamiento de la presión en una máquina de inyección⁽¹⁰⁾

7.3 VELOCIDAD DE INYECCIÓN

Cuando se habla de velocidades de inyección, se hace la referencia al avance o carrera axial del husillo en la fase de la inyección. La velocidad y el tiempo de inyección están íntimamente ligados ya que actúan de manera inversa.

La velocidad de inyección es una medida de la cantidad de materia que entra en el molde durante el tiempo de llenado. Normalmente se expresa como el volumen de material plástico que la máquina puede inyectar por unidad de tiempo cuando el husillo se mueve a su máxima velocidad.

$$(7.1) \quad \text{Vel. iny.} = \frac{(\pi/4) \cdot d^2 \cdot l}{\text{tiempo de inyección}} = \text{cm}^3/\text{s}$$

Donde: d = diámetro del cañón
l = longitud del cañón

En general las velocidades de inyección elevadas facilitan el llenado del molde con recorrido de flujo largo, sobre todo cuando se moldean piezas delgadas.

Las altas velocidades de inyección disminuyen las caídas de presión (pérdidas de carga) que presentan cerca de los puertos de entrada a la cavidad del molde.

7.4 TEMPERATURA

La variación de temperatura de un polímero fundido se traduce en variación de viscosidad.

En las diferentes zonas del cilindro de plastificación se realiza la medición de la temperatura mediante termopares insertados en diversos puntos a lo largo de la trayectoria del material, desde la tolva hasta la boquilla. Los termopares están conectados a instrumentos de control automático que mantienen la temperatura de cada zona en un nivel predeterminado, sin embargo la temperatura de la masa fundida que esta siendo inyectada puede ser diferente a la real, por lo que se recomienda, medir la temperatura del material saliendo de la boquilla.

Si la temperatura del molde se baja, la pieza moldeada se enfría muy rápidamente y esto puede generar problemas en la pieza, aspecto superficial de la pieza de mala calidad.

La fusión de los materiales termoplásticos se realiza gradualmente en el cilindro de plastificación, bajo condiciones controladas. Al calentamiento externo proporcionado por el cilindro de plastificación se suma el calor generado por la fricción del husillo(tornillo) que gira y mezcla el material. La forma del husillo, la variación de su velocidad de rotación y de los valores de contrapresión, producen variaciones en la cantidad de calor generado por fricción dentro del cilindro.

En el moldeo de los termoplásticos, el molde se mantiene a una temperatura inferior respecto a la del polímero fundido que se inyectará en la cavidad. La masa fundida al hacer contacto con las paredes del molde cede a éste su calor y se solidifica; por lo tanto el molde debe disipar en cada ciclo el calor, cediéndolo al líquido de enfriamiento que se hace circular por los conductos dispuestos para asegurar el intercambio térmico.

7.5 DESCOMPRESIÓN

Es la distancia que recorre el husillo al final de la carga y ésta se puede medir en mm. o en porcentaje con respecto al recorrido hacia atrás del husillo, y es muy importante en el buen control del punto de inyección.

7.6 TIEMPO DE ENFRIAMIENTO

El tiempo de enfriamiento es el tiempo comprendido entre el final de la aplicación de la presión de sostenimiento y la apertura del molde. Es el lapso requerido de tiempo para asegurar que el material fundido se halla solidificado y pueda ser extraído sin ser distorsionado. Este tiempo es el mas largo del ciclo, llegando a alcanzar desde el 50 hasta el 85% del ciclo total, por lo que condiciona la duración del ciclo de moldeo y por lo tanto la productividad de la máquina.

El tiempo de enfriamiento depende de:

- Ø Tipo de material
- Ø Temperatura de la masa fundida
- Ø Espesor de la pieza

$$t_s = \frac{-S^2}{2p\Phi} \ln \left[\frac{pT_x - T_m}{4(T_c - T_m)} \right] \quad (7.2)$$

t_s = tiempo mínimo de enfriamiento (s)

S = espesor máximo de la pieza (cm)

Φ = difusividad térmica del material (cm^2/s)

T_x = temperatura a la que se extrae la pieza (con frecuencia se usa la temperatura de distorsión bajo carga) ($^{\circ}\text{C}$)

T_m = temperatura del molde ($^{\circ}\text{C}$)

T_c = temperatura del material fundido ($^{\circ}\text{C}$)

En la siguiente tabla se muestran algunos valores de temperatura y difusividad para algunos termoplásticos

Material	$T_c(^{\circ}\text{C})$	$T_m(^{\circ}\text{C})$	$T_x(^{\circ}\text{C})$	Difusividad cm^2/s
ABS	240	60	95	$1.7 \cdot 10^{-3}$
PA 6	260	90	180	$0.98 \cdot 10^{-3}$
PA 66	285	90	180	$1.01 \cdot 10^{-3}$
PC	300	90	130	$1.47 \cdot 10^{-3}$
HDPE	240	20	92	$0.74 \cdot 10^{-3}$
LDPE	220	20	45	$1.15 \cdot 10^{-3}$
PMMA	240	50	102	$1.09 \cdot 10^{-3}$
PP	240	50	107	$0.85 \cdot 10^{-3}$
PS	220	20	85	$1.6 \cdot 10^{-3}$

Tabla 7.1 valores de temperatura y difusividad para la determinación del tiempo de enfriamiento.⁽¹⁵⁾

7.7 DOSIS

Es la cantidad de material que está siendo inyectado en el molde. Para el cálculo del volumen de material inyectado se necesita saber el volumen teórico de inyección, el cual es el correspondiente a la cámara de inyección ubicada frente al husillo.

Se debe de tener en cuenta que el volumen teórico de inyección será un 90% del valor real debido al paso de una cantidad a través de la válvula anti retorno.

$$\text{Volumen teórico de inyección} = \pi * (d^2/4) * i * \rho \quad (7.3)$$

d = diámetro del husillo(cm)

i = carrera máxima del husillo(cm)

Como la densidad de los plásticos disminuye con el incremento de la temperatura y varía el volumen ocupado por el material, se requiere convertir el volumen teórico de inyección a tamaño de disparo, que es la cantidad de material que será inyectado.

$$\text{Tamaño de disparo} = \text{volumen teórico de inyección} * \text{densidad del material a temperatura de plastificación} \quad (7.4)$$

Material	Densidad g/cm ³	Material	Densidad g/cm ³
PS	0.886-0.901	PA 66	0.958-0.955
HI-PS	0.895-0.917	PMMA	0.996-1.012
ABS	0.895-0.908	PC	1.018-1.037
SAN	0.907-0.917	POM	1.187-1.124
LDPE	0.730-0.740	PER	1.129-1.172
HDPE	0.752-0.772	PBT	1.102-1.113
PP	0.7121-0.737	CA	1.074-1.101
PVC-F	1.05-1.389	PPS	1.075-1.109
PVC-R	1.134-1.219	PA-6	0.958-0.995

Tabla 7.2 Densidad de algunos termoplásticos a temperatura de plastificación⁽¹⁰⁾

7.8 FUERZA DE CIERRE

La fuerza de cierre es la fuerza máxima disponible en la máquina para mantener el molde cerrado durante la inyección.

Para determinar el valor exacto de la fuerza de cierre, es necesario conocer:

- Ø Proyección del área de la figura sobre el plano de inyección.
- Ø Valor de la presión media ejercida por el material en fase de inyección; éste depende de:
 - a. tipo de material usado
 - b. temperatura de la masa fundida
 - c. temperatura del molde
 - d. características de la figura a moldear
 - e. espesor de las paredes
 - f. longitud del recorrido del flujo

La fuerza de cierre resultará

$$\text{Fuerza de cierre} = \text{presión media del molde} * kM * \text{área} \quad (7.5)$$

En la siguiente tabla se puede apreciar los valores de kM que presentan determinados termoplásticos.

Material	kM	Material	kM
PA	1	ABS	1.5
PEAD	1	POM	1.5
PEBD	1	PC	2
PS	1	PMMA	2
SAN	1.5	PVC	2

Tabla 7.3 kM : Constante relativa del tipo de material usado⁽⁴⁾

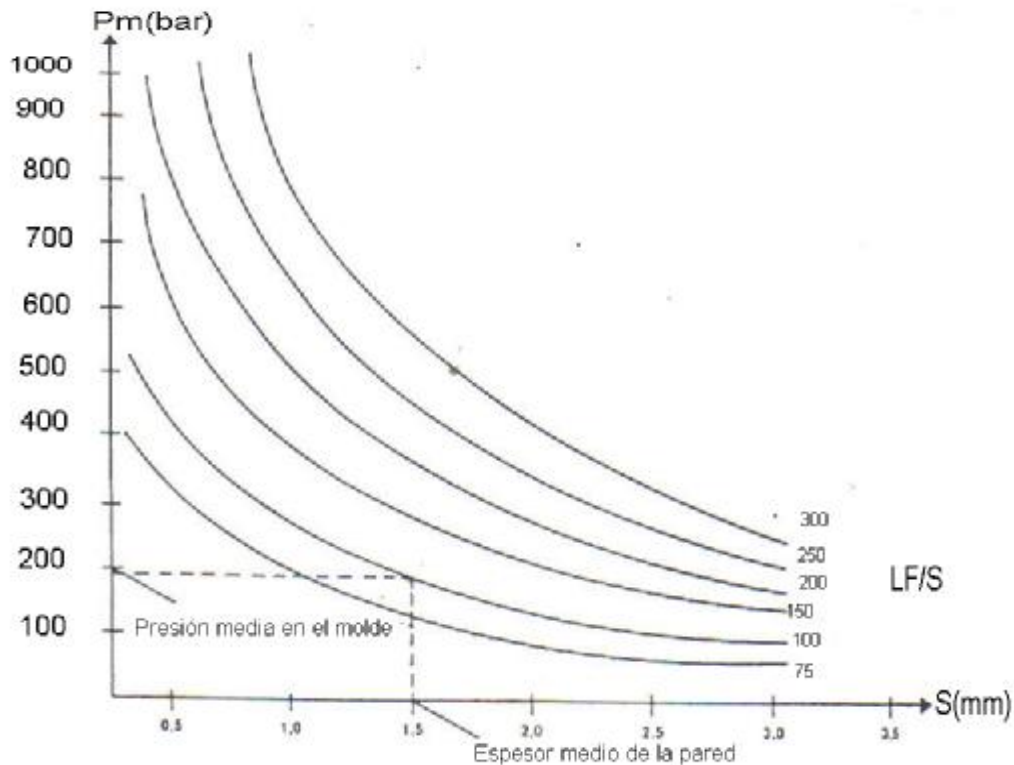


Figura 7.2 Relación entre la presión media y el espesor de pared del molde⁽⁴⁾

LF/S es la relación que existe entre el recorrido del flujo (LF) y el espesor medio de las paredes de la pieza (S)

7.9 AMORTIGUAMIENTO, "COLCHON"

Es una pequeña cantidad constante de material entre la punta del husillo y el cañón al finalizar la inyección. Esto permite que se aplique mejor la presión de inyección y de sostenimiento.

7.10 VELOCIDAD DE ROTACIÓN DEL HUSILLO

La velocidad de rotación del husillo determina la capacidad de plastificación de la máquina (en kg/h), pero puede también influir en la homogeneidad, ya que a mayor velocidad del husillo tendrá un tiempo mas corto de contacto con el cañón, lo cual ocasionaría puntos en la pieza moldeada.

El husillo gira para llenar el cañón con el material fundido necesario para la siguiente inyección. Parte del calor requerido para plastificar el plástico proviene del giro del tornillo, por lo tanto para alcanzar cierta temperatura del material, el tornillo puede moverse de forma mas rápida. Velocidades mas lentas funden el material mas lentamente ya que se reduce el esfuerzo del tornillo y la fricción. Velocidades lentas de giro del tornillo producen temperaturas mas homogéneas en el fundido además de reducir el desgaste del tornillo.

7.11 CONTRAPRESIÓN

Es la presión que debe vencer el husillo en su movimiento de retroceso y tiene una notable influencia en la homogeneización del material durante la plastificación. El material fundido se acumula entre el espacio de la punta del husillo y la boquilla. El material plastificado es llevado hacia delante en tanto que el husillo gira hacia atrás. Esta contrapresión tiene la función de impedir el retorno de material, mejorando la acción de la mezcla de material.

Altas contrapresiones mejoran las propiedades de las piezas, ya que desaparecen problemas de control dimensional, contracción, dispersión del color; pero altas contrapresiones aumentan el tiempo en el que gira el tornillo por lo que el ciclo se eleva.

7.12 TIEMPO DE INYECCIÓN:

Es el tiempo que tarda el husillo en llenar las cavidades del molde y durante el cual actúa la presión de inyección.

El tiempo de inyección es la variable que informa del tiempo que representa sobre el tiempo total del ciclo, la operación de inyectado a alta presión en la cavidad del molde.

El tiempo de inyección se va a ver influenciado por otros parámetros tales como la viscosidad del material, la presión de inyección y la velocidad con que se inyecta al molde, así como los parámetros geométricos del molde en cuestión en el que se esté inyectando.

Para el cálculo exacto del tiempo de inyección, es necesario considerar que el material entra

a la cavidad y empieza a enfriar al hacer contacto con las paredes del molde, esto lleva a que la capa de material solidificado es uniforme en todos los puntos en el instante en el que

el frente del material fundido alcanza las partes extremas de la cavidad y en que el espesor

del material solidificado(S) es proporcional al tiempo del llenado del molde(t)

$$S = Ct^{1/3} \quad (7.6)$$

S = espesor de la capa del material (mm).

C = constante de solidificación de enfriamiento.

t = tiempo (s)

$$C = (T_x - T_m) / (T_c - T_m) \quad (7.7)$$

T_c = temperatura del material fundido.

T_m = temperatura del molde.

T_x = temperatura de distorsión bajo carga.

Por lo que el tiempo de inyección queda de la siguiente forma

$$T_i = \frac{(S * \frac{F_m}{F_i})^3}{8(T_x - \frac{T_m}{T_c} - T_m)^3} [s] \quad (7.8)$$

S = espesor de pared mínimo de la pieza (cm)

F_i = relación entre recorrido de flujo/ espesor de pared para el material a inyectar

F_m = recorrido máximo del material fundido hasta la entrada (cm).

La tabla siguiente muestra los valores de las temperaturas que son necesarios para el cálculo del tiempo de inyección.

<i>Material</i>	$T_c(^{\circ}C)$	$T_m(^{\circ}C)$	$T_x(^{\circ}C)$
ABS	240	60	95
PA 6	260	90	180
PA 66	285	90	180
PC	300	90	130
HDPE	240	20	92
LDPE	220	20	45
PMMA	240	50	102
PP	240	50	107
PS	220	20	85

Tabla 7.4 Valores de temperaturas para la determinación del tiempo de inyección⁽¹⁵⁾

7.13 TIEMPOS COMPLEMENTARIOS

Tiempo de sostenimiento: es el tiempo en el cual actúa la presión de sostenimiento.

Tiempo de pausa: es el tiempo que transcurre entre el final de la apertura del molde y el inicio del movimiento de cierre del molde para iniciar el siguiente ciclo.

Tiempo de residencia: es el tiempo que tarda el material plástico en el interior del cañón.

7.14 CICLO DE INYECCIÓN

El ciclo de inyección es la secuencia de operaciones para la producción de una pieza, y comprende las siguientes etapas.

1. Se cierra el molde vacío, mientras se tiene lista la cantidad de material fundido que se va a inyectar dentro del cañón de la máquina.
2. Se realiza la inyección al introducir el material mediante el husillo, el cual actúa como un pistón, forzando al material a pasar por la boquilla hacia las cavidades del molde, con una determinada velocidad y presión de inyección.
3. Una vez terminada la inyección, se mantiene la presión sobre el material inyectado en el molde, antes que solidifique para contrarrestar la contracción de la pieza durante su enfriamiento. La presión que actúa es la presión de sostenimiento, normalmente esta presión es menor que la presión de inyección. Una vez que empieza a solidificarse la pieza puede liberarse esta presión.
4. Se inicia el giro del husillo; al hacerlo toma gránulos sólidos de la tolva y los plastifica(funde) con el calor generado por la fricción al girar el husillo y el calor suministrado por las bandas calefactores. Posteriormente se hace pasar el material fundido a la parte delantera del husillo, por lo que empieza a desarrollarse presión hacia la boquilla que se encuentra cerrada, originando a que el husillo se retraiga(se mueva hacia atrás), mientras que sigue girando hasta acumular en su parte delantera la cantidad de material fundido necesario para la siguiente inyección. Al terminar esta dosificación, el material puede descomprimirse al retroceder ligeramente el husillo para evitar que el material se tire por la boquilla antes de ser inyectado.
5. El material dentro del molde sigue enfriándose y transfiriendo su calor hacia el molde, de donde es disipado por el líquido refrigerante (comúnmente agua). Una vez que se a terminado el tiempo de enfriamiento, se abren las dos partes del molde y el mecanismo de expulsión extrae la pieza.
6. El molde se cierra de nuevo y el ciclo se repite

7.14.1 DURACIÓN DEL CICLO DE INYECCIÓN

El tiempo que tarda un ciclo permite establecer el tiempo necesario para producir un número determinado de piezas, lo que determina la factibilidad del proceso.

Dentro de las diferentes etapas del ciclo de inyección, las etapas de cierre y apertura del molde son parámetros que el proveedor de la máquina de inyección dará al usuario final y que se conocen como ciclos en vacío.

El tiempo restante es función de las piezas moldeadas, según su forma, sus características y el material plástico empleado. Las etapas son las siguientes:

Tiempo de inyección (ti)

Tiempo de presión de sostenimiento (tp)

Tiempo de plastificación (tf)

Tiempo de enfriamiento (ts)

Ø Tiempo de inyección(ti):

Este tiempo suele abarcar del 5 a 25 % del ciclo total

Para el cálculo del tiempo de inyección, se necesita conocer el volumen del material que la máquina puede desplazar por segundo (capacidad de inyección).Este dato es proporcionado por el fabricante de la máquina.

(7.9)

Capacidad de inyección X = capacidad de inyección(dato del fabricante) * densidad de X

Donde X representa a un termoplástico dado

Ø Tiempo de presión de sostenimiento(tp):

Es el tiempo en el cual el husillo para, una vez que se ha terminado la inyección. Su objetivo es evitar la formación de rechupados; en este tiempo el tornillo actúa como pistón y empuja material adicional en el molde para compensar su encogimiento.

El tiempo de la presión de sostenimiento depende de varios factores, como diámetro y longitud de la entrada, tipo de material empleado, forma de la pieza, etc. Su valor es difícil de determinar por lo que la experiencia ofrece buenos resultados. Este tiempo fluctúa entre 1 y 2 segundos

Ø Tiempo de plastificación.

Es el tiempo requerido para la fusión del material, y se calcula a partir del peso de la pieza que incluye venas y canales de alimentación y de la capacidad de plastificación(kg/h)

La capacidad de plastificación varía con el tipo de material y la contrapresión, y esta capacidad se da por el constructor de la máquina.

$$t_f = \frac{\text{peso de las piezas con canales y venas}}{\text{capacidad de plastificación}} \quad [s] \quad (7.10)$$

Ø Tiempo de enfriamiento (ts)

El tiempo de enfriamiento es el tiempo comprendido entre el final de la aplicación de la presión de sostenimiento y la apertura del molde. Y se puede calcular mediante la ecuación número: 7.2

El tiempo de inyección óptimo sería la suma:

$$T_t = t_s + t_i + t_p + t_f \quad (7.11)$$

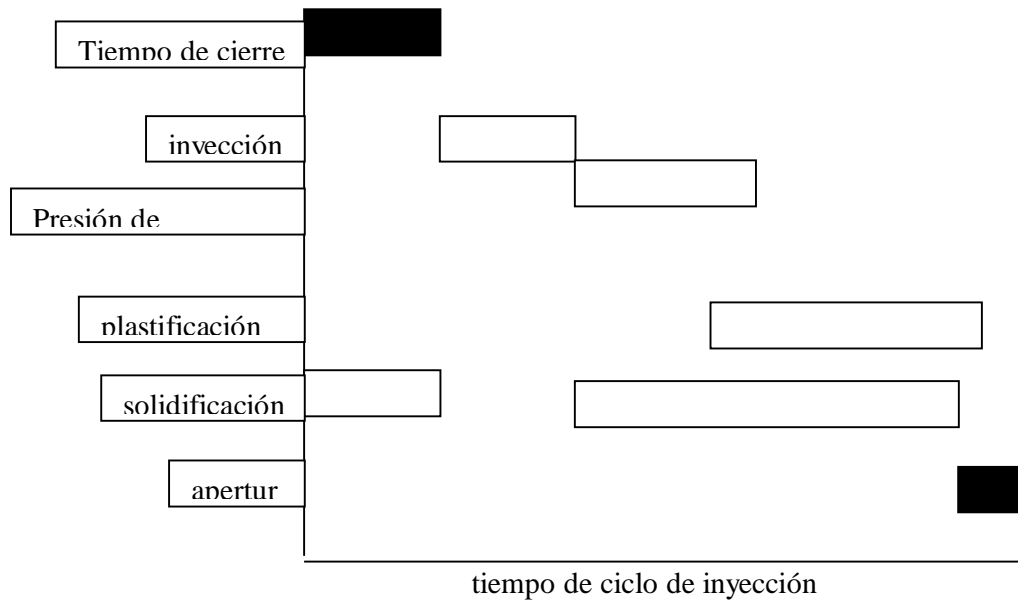


Figura 7.3 Duración del tiempo de enfriamiento.

8. LA MAQUINA DE INYECCIÓN

Las máquinas de moldeo por inyección constan de tres secciones principales, la unidad de cierre, la unidad de inyección y la unidad de control (armario de control eléctrico e interfase hombre-máquina).

- Ø La unidad de cierre, cierra y mantiene unidas las secciones del molde durante la inyección de resina y abre el molde para extraer las piezas.

La unidad de cierre es el apoyo de las secciones del molde y dirige el movimiento del molde. La unidad de cierre incluye dos platos(platinas), el plato fijo que contiene perforaciones para alojar las toberas de inyección y el plato móvil que se mueve para abrir y cerrar el molde.

El ciclo de trabajo de la unidad de cierre es el tiempo que transcurre desde que las secciones del molde se cierran y se ajustan para permitir inyectar el plástico en el molde hasta el momento en que el molde se abre para expulsar las piezas enfriadas del molde. Un parámetro importante en la unidad de cierre es la altura de tiro, que no es otra cosa que el espacio que ocupa el molde dentro de las dos platinas, y debe de ajustarse de manera que la unidad de cierre de la fuerza necesaria para cerrar un molde dado.

- Ø La unidad de inyección usa un sistema de inyección de dos etapas; en la primera, el extrusor utiliza un tornillo sin fin para fundir los gránulos de resina y rellenar la cámara de inyección; en la segunda etapa se utiliza el cilindro de inyección para empujar la resina desde la cámara de inyección al molde.

Un concepto importante en la unidad de inyección es el tiempo de funcionamiento, que se refiere al tiempo necesario para llenar la cámara de inyección con resina, inyectar la resina al molde y retraer el tornillo a fin de prepararse para el siguiente ciclo. La unidad de inyección utiliza un tornillo para derretir los gránulos de resina y un pistón de inyección para empujar la resina dentro del molde.

- Ø La unidad de control se dispone del armario eléctrico, el cual es el encargado de controlar los movimientos e impulsos eléctricos del sistema; la interfase hombre-máquina, que es la encargada de regular el funcionamiento de la máquina y las funciones de trabajo.

8.1 UNIDAD DE INYECCIÓN

La unidad de inyección es quizá la parte mas importante de la máquina, pues se encuentra en ella la mayor parte de los factores que afectan la eficiencia.

Es la parte del equipo que acondiciona el material plástico de tal manera que pueda introducirse en el molde. En la unidad de inyección se encuentra instalado el sistema motriz del grupo de plastificación.

El sistema de arrastre, localizado también en la unidad de inyección, provee movimiento axial al grupo de plastificación de tal manera que sean posibles ciertas acciones

- Ø Aproximar y retirar grupo de plastificación al bebedero del molde.
- Ø Cambios de boquillas con longitud diferente.
- Ø Mantenimiento del husillo.

El sistema de arrastre consiste en cilindros hidráulicos y elementos estructurales que dan apoyo al grupo de plastificación.

La unidad de inyección está constituida por el cilindro de plastificación, que es la parte en donde estará alojado el plástico antes de ser inyectado, en el cual se realizan los siguientes fenómenos:

- Ø Se lleva a cabo la plastificación y la homogeneización del material hasta que llega a la fluidez necesaria para poder ser inyectado en el molde.
- Ø Se inyecta el material fundido dentro del molde a alta velocidad y presión, por medio de un movimiento axial del husillo y se sostiene la presión del material para que sea compactado.
- Ø Dosifica la cantidad necesaria de material para un ciclo de trabajo por medio de la rotación del husillo.

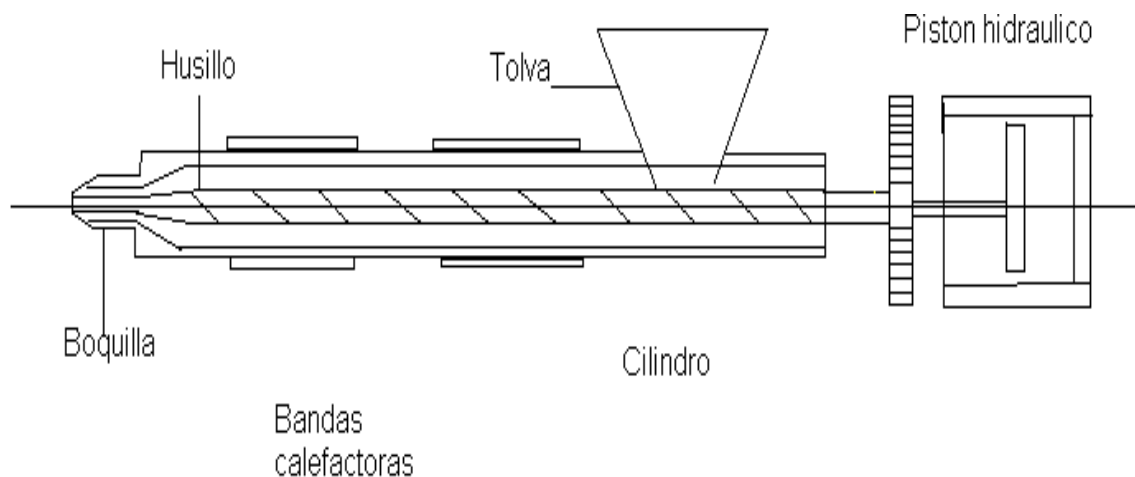


Figura 8.1 Partes que componen a la unidad de inyección.⁽¹⁰⁾

La forma más común para identificar el tamaño de la unidad de inyección es a través de la capacidad máxima de disparo o el peso máximo del producto.

Es importante comprender esto por que cuando se trabaja con polietileno, el tamaño real de disparo será menor puesto que ocupa mas volumen por un peso determinado.

- Ø El tamaño de disparo debe ser 85% de la capacidad máxima para piezas con bajas propiedades mecánicas.
- Ø 75% para propiedades mecánicas elevadas.

Para conocer el valor del tamaño del disparo se necesita saber la capacidad que tiene la maquina para inyectar una masa determinada, está masa es determinada por el tamaño de maquina.

(8.1)

$$\text{Tamaño de disparo} = \frac{\text{densidad del material (g/cm}^3\text{)} * \text{masa inyectada de material (g)}}{1.05^{(a)}}$$

La tabla siguiente muestra los valores posibles de densidad para algunos termoplásticos.

PS	1.05	PA 6	1.12-1.15
HI-PS	1.14-1.2	PA 66	1.13-1.16
ABS	1.01-1.08	PMMA	1.16-1.20
SAN	1.06-1.10	PC	1.20-1.22
LDPE	0.89-0.93	POM	1.41-1.43
HDPE	0.94-0.97	PET	1.29-1.41
PP	0.85-0.92	PBT	1.30-1.38
PVC-F	1.19-1.35	CA	1.25-1.35
PVC-R	1.38-1.41	PPS	1.28-1.32

Tabla 8.1 Densidad (g/cm³) de materiales a 23°C⁽¹⁰⁾

10.1.2 TOLVA

El diseño de la tolva de alimentación es muy importante para favorecer el flujo uniforme de plástico hacia el interior del cañón. La tolva presenta una válvula deslizante, la cual permite o impide el paso de material hacia el husillo.

En la parte inferior de la tolva se cuenta con una línea de enfriamiento que impide el calentamiento excesivo en la entrada del material al cañón y el reblandecimiento del mismo antes de tiempo que pueda impedir la uniformidad de alimentación.

Los materiales higroscópicos no deben mantenerse en la tolva por mas de una hora, esto para evitar la absorción de agua en gran cantidad.

Para materiales no higroscópicos, es conveniente tener una tolva de gran tamaño, ya que con esto se requiere de menor atención del alimentador.

Es conveniente saber cual es la capacidad de la tolva con el fin de que ésta no se vacíe, y el proceso sea interrumpido por lo que la capacidad en kg de material para una hora de producto es la siguiente.

$$\text{Peso del material a alimentar} = \frac{\text{Tamaño del disparo actual(g)} * 3600}{\text{tiempo de ciclo (s)} * 1000} \quad (8.2)$$

^a 1.05 es la densidad del poliestireno y se toma como base para este cálculo porque de los plásticos es el que tiene la densidad mas cercana a 1

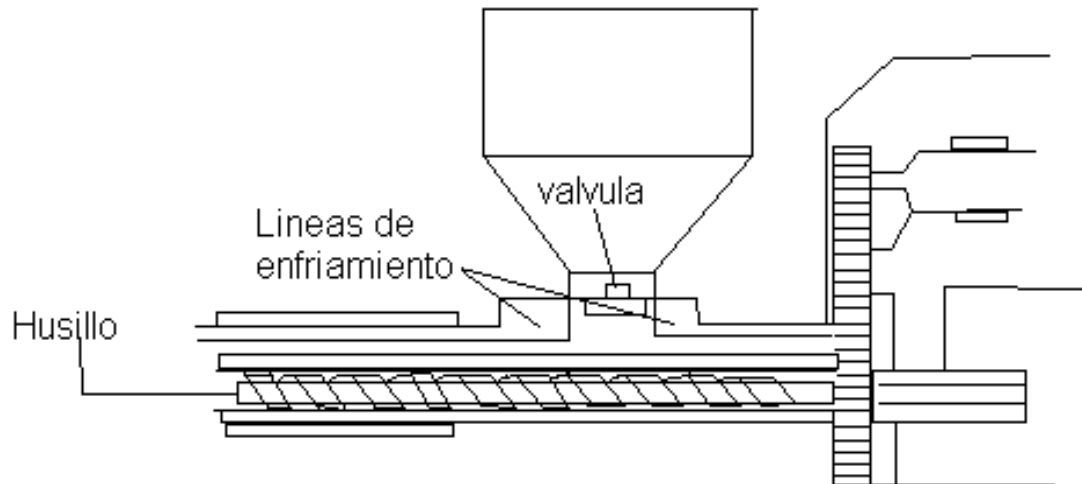


Figura 8.2 Tolva⁽¹⁰⁾

8.3 CAÑON

El cañón también es llamado barril o cilindro, el cual, en conjunto con el husillo aporta el mayor porcentaje de energía que se requiere para reblandecer o fundir el material ya que durante la etapa de carga, el husillo gira y fuerza al plástico a tener contacto con el cañón friccionando y generando calor, el resto de la energía de plastificación es provista por el calor que suministran las bandas calefactoras que abrazan externamente el cañón.

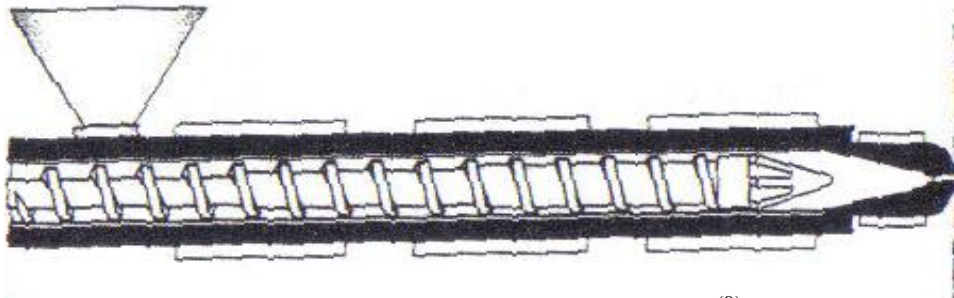


Figura 8.3 Husillo dentro de un cañón⁽⁹⁾

Generalmente las bandas de calefacción consisten en elementos cerámicos cubiertos con una placa metálica que refleja y concentra el calor generado en la dirección que se requiere. A través de ellas y en contacto con el cañón, se ubican los termopares, que son elementos de medición y control de temperatura.

El perfil de velocidad de flujo puede ser diferente al variar la densidad y las fuerzas internas que se opongan al movimiento del fluido. De cualquier forma el fluido en contacto con las paredes del ducto es invariablemente estático. Por lo tanto se puede hacer la siguiente consideración.

- Ø Resulta inútil pulir a espejo los canales de alimentación del molde debido a que esto no facilita el flujo del material fundido.

10.1.4 HUSILLO

Un husillo presenta filetes o alabes que sirven para transportar material plástico hacia la cámara de inyección, la profundidad de los alabes en la zona de alimentación de plástico es mayor a la que se presenta en las zonas de dosificación, produciendo en el material una compresión paulatina que lo reblandece o funde hasta alcanzar la consistencia requerida para introducirse al molde.

El husillo presenta tres zonas principales

- Ø Alimentación
- Ø Compresión o transición
- Ø Dosificación

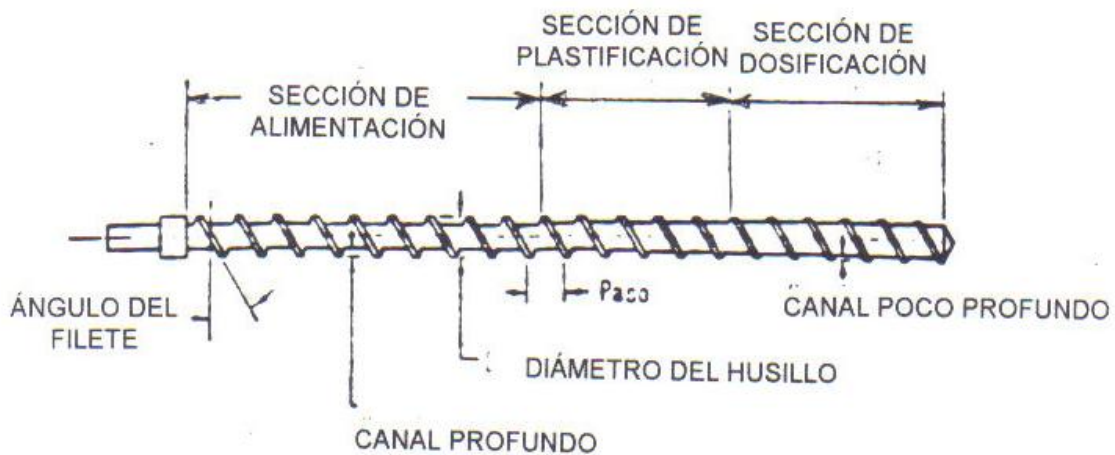


Figura 8.4 Diferentes zonas de las cuales están constituidos los husillos.⁽¹⁰⁾

En la zona de alimentación al igual que en la zona de dosificación, la profundidad de los alabes es constante, solo en la zona intermedia la profundidad varía de mayor a menor en el sentido del transporte.

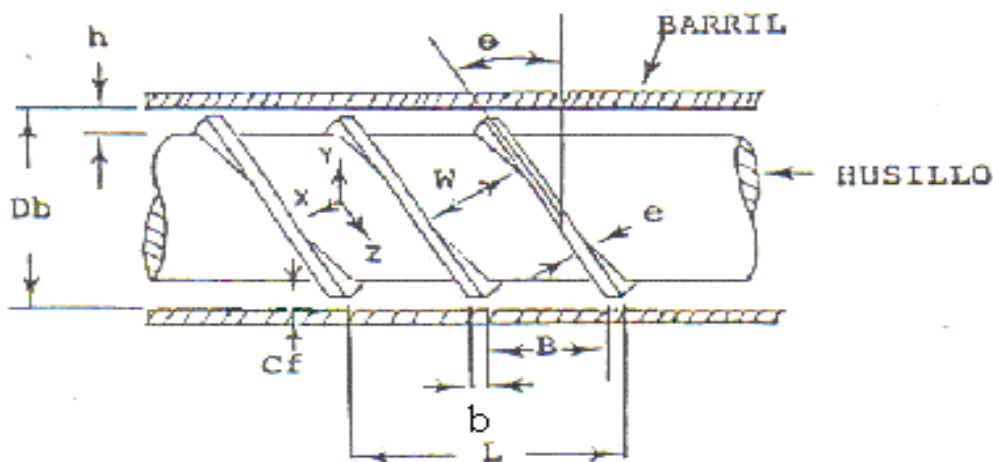


Figura 8.5 Nomenclatura del husillo⁽¹⁰⁾

Db: diámetro del cañón.

Cf: claro del filete.

h: distancia entre la raíz del husillo y la superficie interna del cañón.

L: distancia axial de una vuelta completa.

B: distancia axial entre filetes.

W: ancho del canal.

b : ancho del filete del husillo en la dirección axial.

e : ancho del filete en la dirección perpendicular.

θ : ángulo entre el filete y el plano normal al eje del husillo, se denomina ángulo de hélice.

Es importante tener en cuenta el estado del husillo ya que si existe un espacio debido al desgaste entre los filetes y la superficie interna del cañón la producción de la máquina será menor.

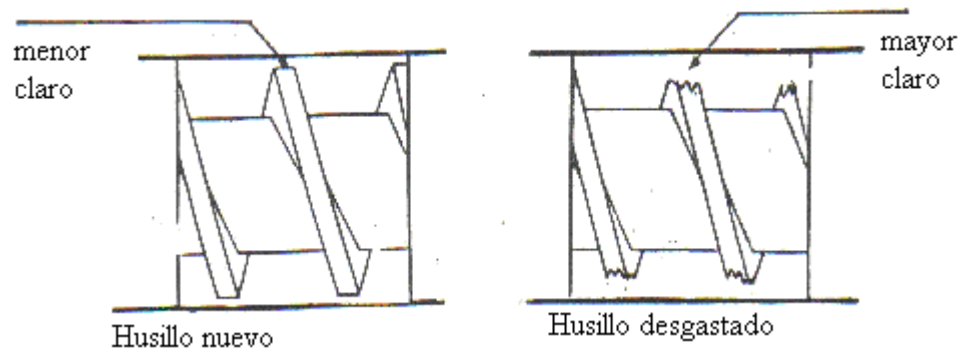


Figura 8.6 Desgaste de los filetes de un husillo.⁽⁹⁾

Efecto en la baja producción al aumentar el espacio de desgaste de los filetes del husillo.

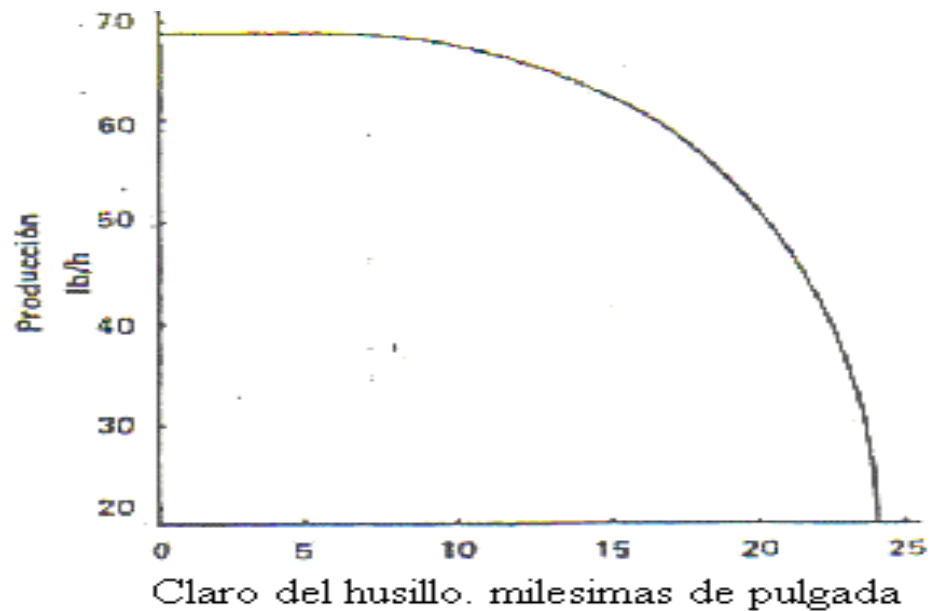


Figura: 8.7 Efecto en la producción, por husillos con filetes desgastados⁽⁹⁾.

La relación de compresión del husillo es uno de los parámetros mas importantes cuando se requiere procesar materiales plásticos de diferentes características.

Entre los materiales amorfos y cristalinos existen diferencias esenciales en cuanto a la viscosidad, calor específico y estructura molecular, lo cual se expresa en comportamiento termodinámico también distinto, ya que ambos tipos requieren cantidades de calor diferente. Generalmente los materiales semicristalinos deben de procesarse con husillos de relación de compresión mayores.

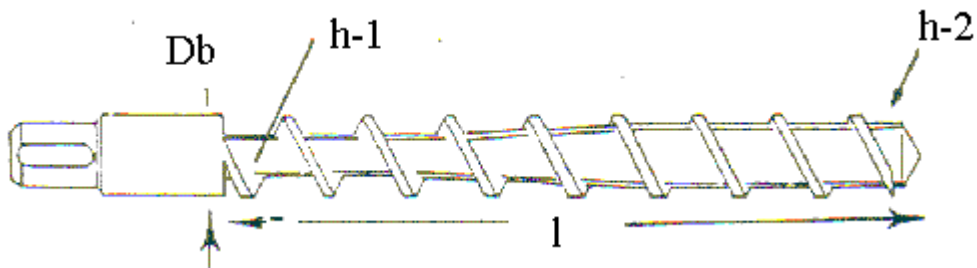


Figura 8.8 Relación de compresión en el husillo.⁽¹⁰⁾

La relación de compresión se define como la profundidad de la zona de alimentación entre profundidad de la zona de dosificación.

$$RC = (h-1)/(h-2) \quad (8.3)$$

Donde:

h-1 = Profundidad de la zona de alimentación.

h-2 = Profundidad de la zona de dosificación.

l= Longitud del husillo

Db = Diámetro del husillo

La función del husillo es transformar la energía mecánica en calor transmitido al material, por lo que sus características geométricas deben diferir para cada familia de plásticos. Como se representa en Los siguientes datos de relación L/D.

Relación L/D alta (22-1)

- Ø Mejor mezclado.
- Ø Calentamiento mas uniforme.
- Ø Tolerancias dimensionales de 0.01mm.

Relación L/D media (20-1)

- Ø Aplicaciones generales.

Relación L/D bajas(18-1)

- Ø Baja presión de inyección.

Si la longitud es constante, una mayor L/D significa.

- Ø El diámetro del husillo es menor.
- Ø Presión de inyección debe de ser mayor.
- Ø El volumen de inyección debe ser menor.

8.5 BOQUILLAS

La boquilla es un elemento que conecta la salida del plástico hacia el bebedero del molde y el cañón del grupo plastificador, el ensamble se realiza a través de un adaptador roscado. La boquilla debe presentar una banda de calefacción, ya que algunos materiales plásticos pueden solidificarse en esta zona del equipo antes de ser inyectados, creando una obstrucción.

Las funciones de las boquillas son:

- Ø Unir al cilindro de plastificación con el molde y servir como pieza de ajuste entre ellos para evitar fugas de material durante la inyección.
- Ø Reducir el canal por donde pasa el material, desde el diámetro del cilindro hasta el diámetro de la entrada.

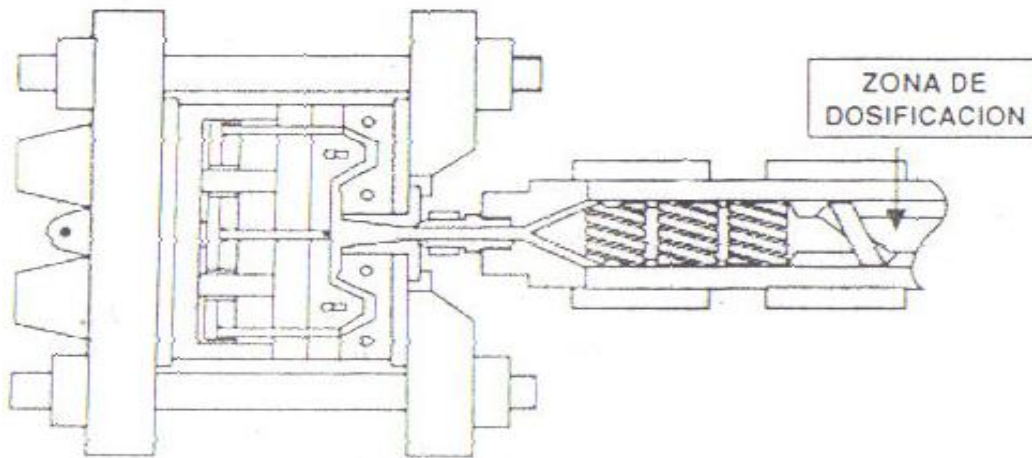


Figura 8.9 Forma en la cual la boquilla debe de coincidir con el bebedero del molde.⁽¹⁰⁾

Existen dos tipos de boquillas: las boquillas abiertas y las boquillas cerradas.

Las boquillas abiertas permiten el paso de material al no existir ninguna válvula entre el cilindro y el 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 del material. Cuando finaliza la inyección la válvula se cierra evitando que el material gotee.

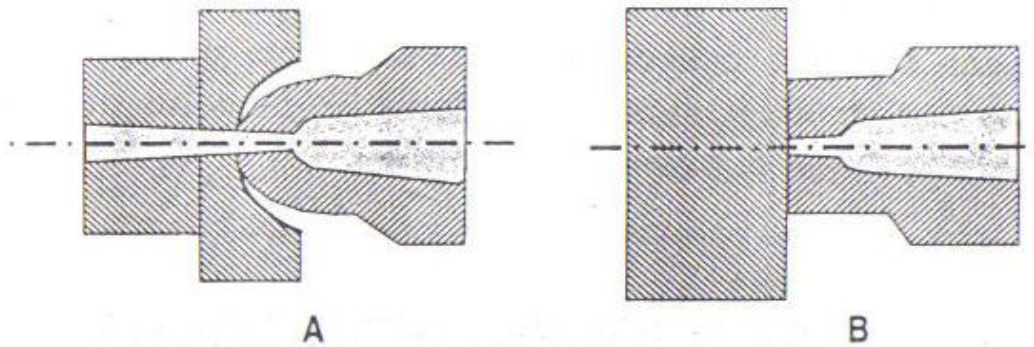


Figura 8.10 Boquillas planas y convexas.⁽²⁾

Las boquillas con punta plana (B) se emplean cuando los moldes tienen sistema de colada caliente, mientras que las convexas son esenciales en sistemas de colada fría.

Es importante para el proceso que la punta de la boquilla coincida con el bebedero del molde ya que de lo contrario el material se escapará por los espacios libres lo que ocasionará que las piezas salgan incompletas o que la dispersión del flujo del material inyectado no llegue con la presión indicada a la cavidad del molde.

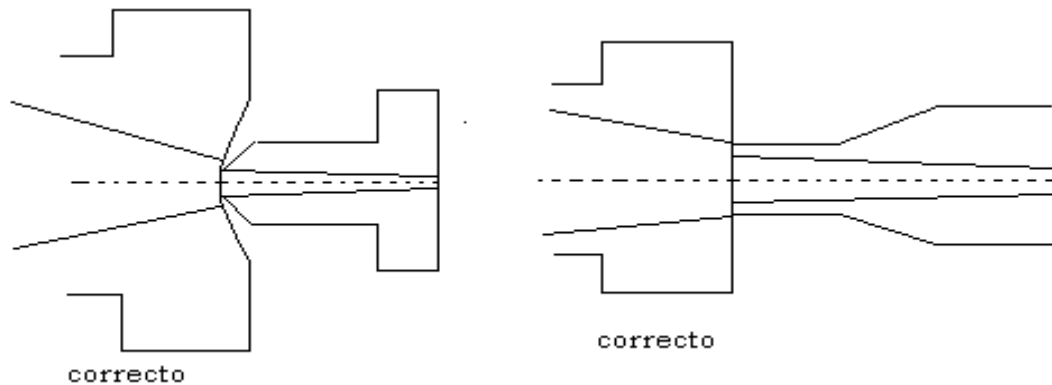


Figura 8.11 Forma correcta de unión entre bebedero y boquilla.

El diámetro del orificio de la boquilla es muy importante ya que debe ser muy semejante al orificio del bebedero. Si ocurre lo contrario, el plástico encontrará restricciones para fluir hacia el interior del molde y por lo tanto sobrecalentamiento y la posibilidad de degradación del material.

El diámetro del canal de flujo en la boquilla depende del volumen de la cavidad del molde, en piezas de peso reducido, 20-30 gramos, el orificio de la boquilla tiene que poseer un diámetro de 3-3.5mm. Para moldes mayores y piezas con diverso espesor de pared se utilizan boquillas con orificios de hasta 6mm de diámetro.

La siguiente tabla muestra el diámetro que debe de poseer el orificio de una boquilla para poder soportar la fuerza de cierre que proporciona la maquina de inyección.

<i>Fuerza de cierre(kN)</i>	<i>Diámetro del orificio(mm)</i>	<i>Fuerza de contacto(kN)</i>
Menor a 500	3-5	50-80
500-1000	4-6	60-90
1000-5000	5-8	170-220
5000-10000	6-10	220-280
Mayor a 10000	10-12	250-350

Tabla 10.2 Orificio de la boquilla con respecto a la fuerza de cierre⁽¹⁸⁾

10.1.6 VALVULA ANTIRETORNO "DISTANCIADOR"

La válvula antiretorno es un componente muy importante para el proceso, ya que regula la cantidad de plástico que será introducido en cada disparo a la cavidad del molde. El "distanciador" es un elemento atornillable al husillo, entre la punta y el husillo se encuentra un anillo deslizante y un asiento anular para la válvula antiretorno.

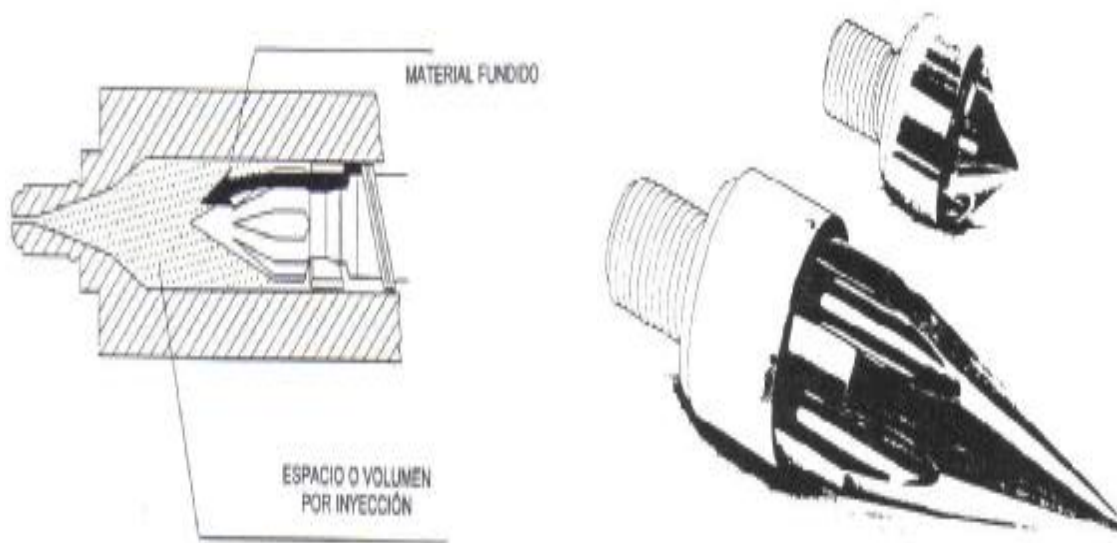


Figura 8.12 Válvula antiretorno "distanciador"⁽¹⁰⁾

Durante la etapa de carga, el anillo se recarga sobre el asiento construido en la punta del husillo permitiendo el paso del material plastificado hacia la cámara delantera de inyección. Como se muestra en la figura 8.13

En la fase de la inyección, la inercia provoca que la válvula se desplace hasta ubicarse sobre el asiento posterior unido al husillo, lo cual cierra la posibilidad de que el plástico regrese a la zona de álabes. Esto se puede apreciar en la figura 8.14

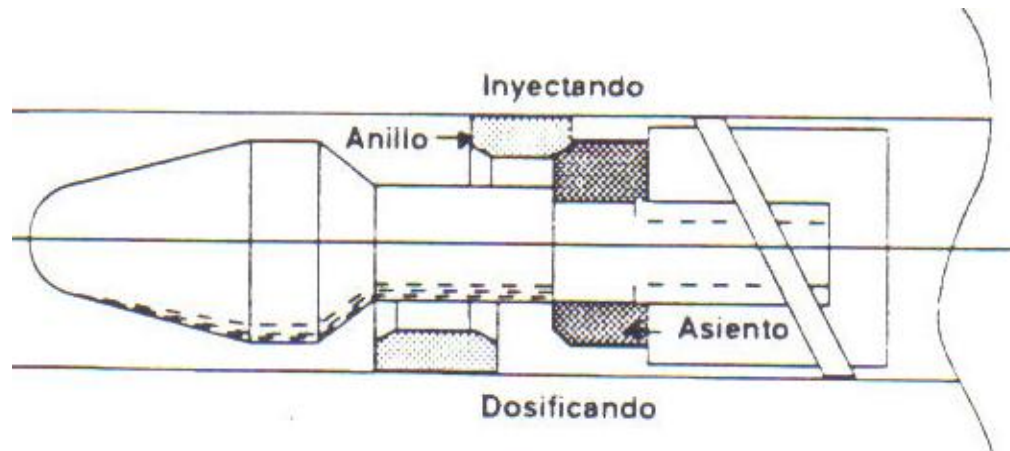


Figura 8.13 Movimiento de la válvula antirretorno cuando la maquina inyecta o dosifica.⁽¹⁰⁾

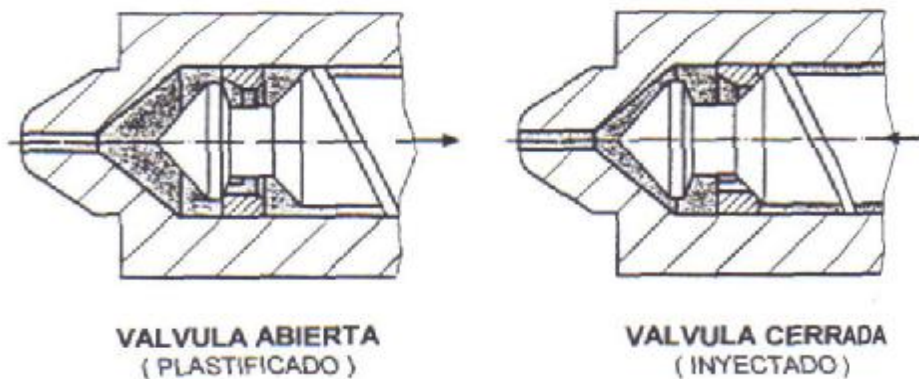


Figura 8.14 Diferencia de posición de la válvula antirretorno cuando se esta en la fase de la inyección y en la fase de la plastificación.⁽⁸⁾

8.7 UNIDAD DE CIERRE

La unidad de cierre tiene la función de efectuar el movimiento hacia la posición de cierre y apertura del molde dentro del ciclo total de trabajo de la máquina, además de que sirve como estructura de soporte para el molde. Durante la inyección evita la apertura del molde y al finalizar el ciclo contribuye a la expulsión de la pieza la cual puede ser con un sistema mecánico o neumático.

El sistema de expulsión mecánico se encarga de sacar la pieza de la cavidad del molde por medio de un dispositivo de un expulsor que se encarga de golpear la pieza para su liberación una vez abierto el molde y éste se programa desde la interfase hombre-máquina

El sistema de expulsión neumático, como su nombre lo indica es un sistema de expulsión a través de aire que se regula con la ayuda de una válvula, y el cual se programa para que éste sea enviado una vez abierto el molde.

Como la unidad de cierre le dará soporte y movimiento a las platinas, para cada máquina se especifica un peso máximo de la mitad móvil de la unidad de cierre, llamado cavidad macho.

En general la unidad de cierre sirve para:

- Ø Abrir y cerrar las mitades del molde, de tal forma que las proteja, haciendo que antes de que se toquen al cierre y antes de que se abran actúe el sistema de presión y de baja velocidad.
- Ø Ejercer la fuerza de cierre necesaria durante la inyección y el sostenimiento para evitar que el molde se abra.
- Ø Expulsar la pieza una vez que el molde se abra.

La siguiente tabla muestra el peso máximo que es capaz de inyectar una máquina de inyección dependiendo de la fuerza de cierre.

<i>Fuerza de cierre(Ton)</i>	<i>Peso inyectado(onzas)</i>	<i>Fuerza de cierre(Ton)</i>	<i>Peso inyectado(onzas)</i>
10-25	1-4	450-500	30-80
25-50	2-10	500-600	40-100
50-100	3-15	600-700	50-120
100-150	4-25	700-800	60-140
150-200	6-30	800-900	70-180
200-250	8-40	900-1000	80-200
250-300	10-50	1000-1200	100-300
300-350	20-60	1200-1500	120-400
350-400	25-70	1500-2000	150-600
400-450	25-75	2000-4000	200-900

Tabla 8.3 Capacidad máxima de inyección dependiendo de la fuerza de cierre⁽⁸⁾

8.8 PLATINAS: FIJA Y MOVIL

Las platinas son dispositivos en donde se encontrará el molde montado, por lo cual no deben tener contacto entre si, el espacio mínimo entre ellas define la altura del molde cuando la platina fija y la platina móvil se cierren, con el fin de mantenerlo así durante la fase de inyección.

Cuando la altura del molde es menor a la distancia mínima entre las platinas, se pueden emplear placas que incrementen las dimensiones del molde, asegurándose un cierre perfecto entre sus mitades.

La apertura máxima entre platinas debe ser lo suficiente para que el molde abierto permita la expulsión de la pieza. Las platinas de las máquinas pueden separarse el equivalente a la altura del molde mas 2.5 veces la del producto, por lo menos.

Las platinas deben ser lo suficientemente gruesas para poder realizar la apertura y cierre sin dañar el molde, ya que de lo contrario las platinas pueden deformarse por el peso del molde y éste puede sufrir daños; mas sin embargo si las platinas son demasiado gruesas será mas difícil moverlas, por lo que la velocidad de cierre se reducirá.

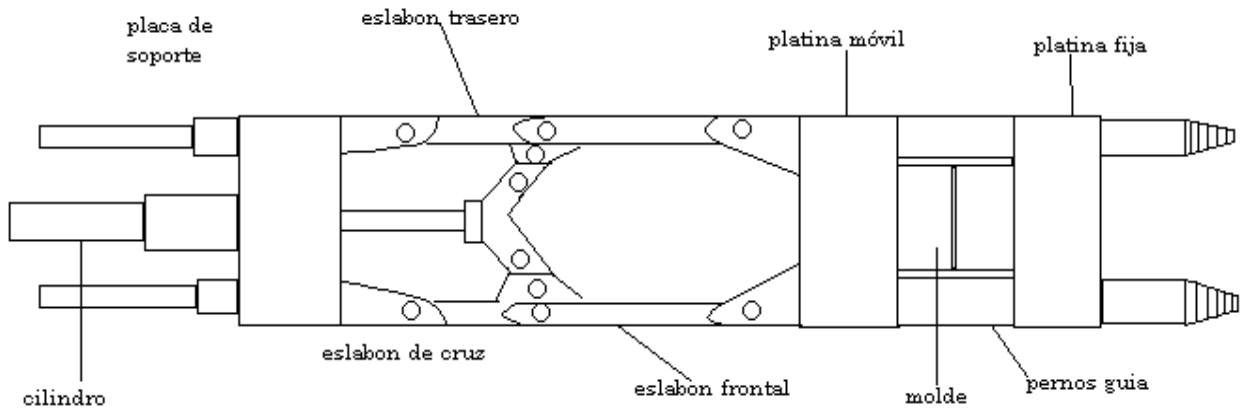


Figura 8.15 Sistema de movimiento de la platina.

El cierre del molde debe de ser a baja velocidad para romper la inercia. En la etapa de mayor longitud de claro de molde, deben aumentarse las velocidades hasta que los pernos guías del molde se encuentren, posteriormente debe bajarse la velocidad para que el molde no tenga un encuentro brusco.

8.9 SISTEMAS DE CIERRE

Existen diferentes sistemas de cierre que se encargan de mover la platina que transporta una mitad del molde. De igual forma se encargan de suministrar la fuerza para que el molde, una vez cerrado no se abra por la acción de la presión del material inyectado. Entre ellos están el sistema de rodillera y el de pistón siendo mas utilizado el de rodillera, ya que en el de pistón debe de haber mas control de limpieza en el aceite encargado de mover los pistones.

8.9.1 SISTEMA DE RODILLERA

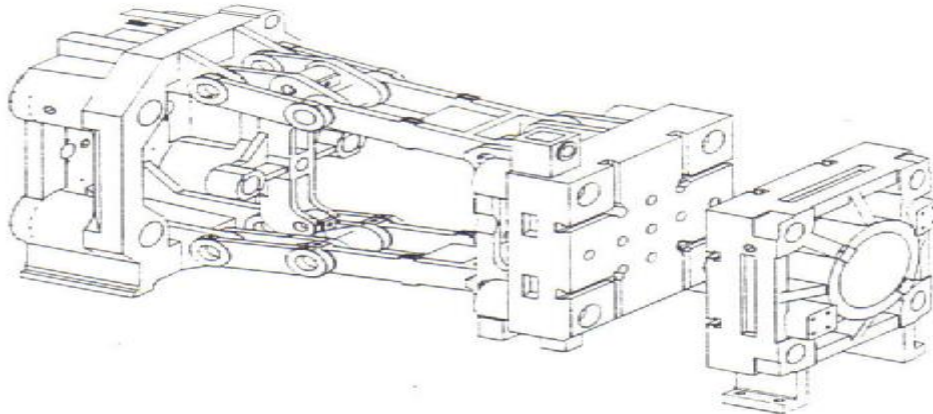


Figura 8.16 Sistema de rodilleras de una máquina de inyección.⁽¹⁰⁾

Este sistema es accionado por un pistón hidráulico. El pistón desplaza la rodillera y ésta a su vez transmite el movimiento a las articulaciones complementarias. Este sistema genera elevadas velocidades de desplazamiento durante la apertura y cierre del molde. Durante la fase de inyección, las barras guías sufren tensiones muy elevadas; estas

tensiones pueden generar la fractura de los pernos de la rodillera o incluso la fractura de las barras guía.

Esta tensión puede ser calculada como sigue:

$$\text{Tensión} = \frac{\text{Fuerza de cierre (kg)}}{\pi * \text{radio de barras}(\text{mm}^2)} \quad [\text{kg}/\text{mm}^2] \quad (8.4)$$

Estos sistemas de cierre presentan múltiples puntos susceptibles al desgaste, por lo que cuentan con sistema de lubricación cada determinado número de ciclos.

8.9.2 SISTEMA DE PISTÓN

En este sistema de cierre, la traslación de la platina móvil así como la fuerza efectiva de cierre se llevan a cabo por medio de un pistón hidráulico. El inconveniente es que la demanda de aceite se incrementa y los movimientos pueden llegar a ser veloces, aunque los movimientos de apertura y cierre de un sistema hidráulico de pistón se controlan de manera precisa.

En este sistema de cierre, el cuidado con el aceite debe ser muy riguroso ya que si éste se encuentra un poco contaminado los movimientos del pistón se verán afectados.

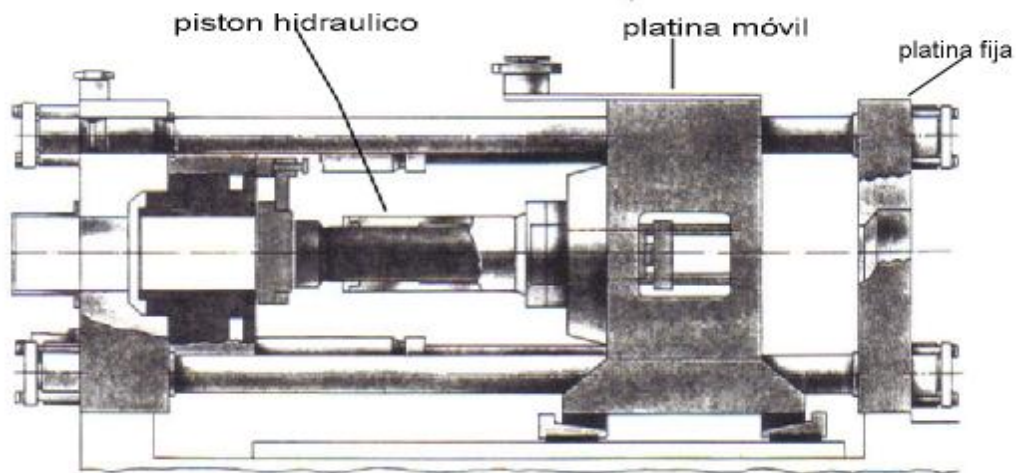


Figura 8.17 Sistema de cierre efectuado con un pistón.⁽⁸⁾

8.1 ALTURA DEL MOLDE

Para poder determinar la altura del molde (distancia entre cada cara del molde, cuando este cerrado) se cuenta con un dispositivo que se encarga de arrastrar la platina móvil mediante el giro de un engrane central que está en contacto con engranes los cuales viajan sobre las barras guía; esto es importante ya que si las dos placas del molde están un poco separada ocasionará rebaba en el producto.

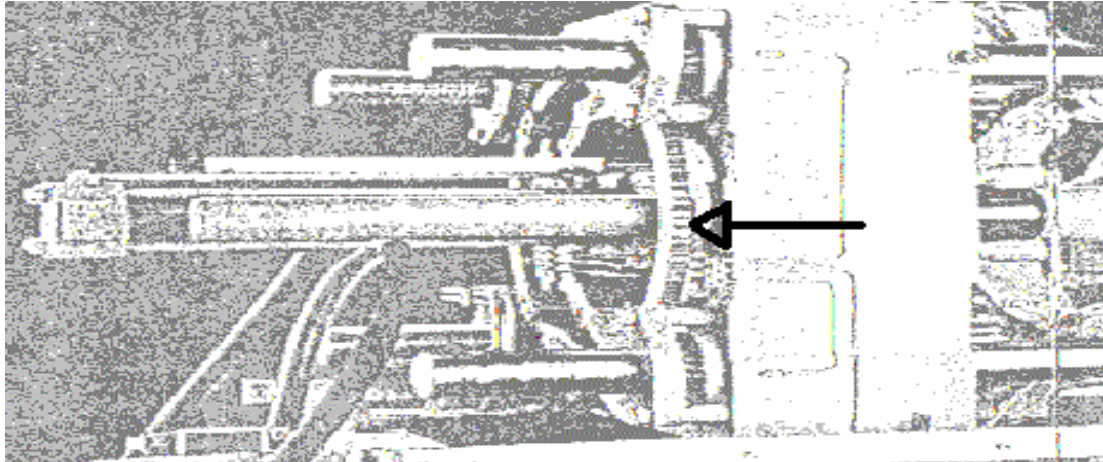


Figura 8.18 Engrane encargado de proporcionar la altura del molde.⁽⁹⁾

8.11 INTERFASE HOMBRE-MAQUINA

Este dispositivo es la parte donde el operador de la máquina podrá realizar los cambios en las variables del proceso para su optimización, y consta de una computadora personal (PC) que se encuentra conectada a todas las parte de la maquina por medio de un control lógico de programación (PLC) el cual enviará la señal registrada en la pantalla de la PC a la parte indicada de la máquina. También se encarga de mandar señales de alarma en caso de que algún funcionamiento de la máquina esté fuera de los rangos establecidos por el operador.

Las máquinas manuales no cuentan con este sistema por lo que el ajuste de cada parámetro se hará directamente cerrando a abriendo válvulas, por lo que el operador tendrá que estar más atento a cualquier falla.

La interfase hombre-máquina es la parte donde el operario puede controlar el proceso. En las máquinas manuales, si el proceso requería alguna ajuste, el operador tenía que localizar la parte de la máquina con el problema; así mismo el operador tenía que cerrar y abrir válvulas, como girar algunas manivelas, etc. En las máquinas que cuentan con un PLC, la corrección de fallas, así como los ajustes rápidos para mejorar el proceso, se pueden realizar desde la interfase hombre-máquina. Consta de una pantalla que puede variar de tamaño dependiendo de la máquina, una numeración del 0-9 para determinar los valores de las variables, un sistema de controles para poder ingresar a cada programa de la máquina (plastificación, inyección, sistema de cierre, etc.) y un botón de paro instantáneo que se utiliza en caso de emergencia, entre otros tantos comandos.

Si en determinado proceso las piezas llegaran a salir incompletas, las diferentes opciones que presenta el PLC de la interfase hombre-máquina serían las siguientes.

En primer lugar se debe acudir a la pantalla del menú principal y llamar el submenú de temperaturas, el cual muestra las diferentes temperaturas que se encuentran tanto en lo largo del cañón como en molde. Una forma de solucionar este problema es la de aumentar la temperatura a las zonas del cañón, teniendo cuidado de no degradar el material.

Otra opción sería ir a la pantalla principal y llamar al submenú inyección, en el cual se encuentran todas las presiones de la máquina siendo la de interés la presión de inyección que es la presión que se desarrolla en el cañón. Con ayuda del cursor de la pantalla de la interfase hombre-máquina, se debe posicionar en la presión de inyección y aumentar el valor predefinido. Teniendo en cuenta no aplicar demasiada presión ya que de lo contrario el molde se abrirá al momento de la inyección y esto empeoraría el problema. Otra opción es la de entrar al menú principal y solicitar el submenú “cierre de molde” en el cual está marcada la fuerza con la que el molde se cierra y la distancia que hay entre cada parte del molde al momento de la inyección. En este caso se tendrá que aumentar el valor de fuerza de cierre que este especificado en ese momento.

Existen diferentes formas de solucionar un problema, pero en todos ellos la importancia de la interfase hombre-máquina representa un ahorro de esfuerzo.

8.12 DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

Las máquinas de moldeo por inyección están provistas de enclavamientos mecánicos, eléctricos, hidráulicos y neumáticos. Los enclavamientos son dispositivos de seguridad concebidos para impedir el funcionamiento de elementos de la máquina en cada una de las siguientes circunstancias:

- Ø Una puerta o compuerta está abierta.
- Ø Se ha interrumpido una conexión de un enclavamiento.
- Ø Se interrumpe el suministro de energía a un enclavamiento.
- Ø Se oprime el botón stop de la interfase hombre-máquina.

Compuerta de seguridad

Cada máquina de inyección está compuesta de una compuerta de seguridad delantera y algunas de compuertas de seguridad trasera. Las compuertas de seguridad funcionan en forma conjunta con las válvulas e interruptores de limitación para que si una puerta se abre, cesen todas las operaciones de la máquina. Para reanudar el funcionamiento se debe cerrar la puerta y arrancar la máquina de nuevo.

Cuando se abre una compuerta, las bombas permanecen encendidas pero cesa todo el movimiento de la máquina a excepción del movimiento del cañón. Cuando una compuerta está abierta se permite que el cañón se retraiga hasta el valor nominal de la posición de retroceso, pero no se permiten movimientos de avance. La retracción hace que el material plástico presente en el molde se descomprima escapando del bebedero del molde.

En el caso de las máquinas dotadas con un cerrojo de seguridad, al abrir una compuerta de seguridad la parte fija activa una válvula de aire, la válvula interrumpe el suministro de aire al cerrojo de seguridad lo cual la asegura e impide que la parte móvil se cierre.

Ubicación y función de los interruptores de limitación

Los interruptores de limitación están ubicados dentro de las compuertas de seguridad delantera y trasera. En el protector de purgas se encuentran presentes interruptores de

seguridad adicional y en la puerta trasera se hallan interruptores de limitación accionados por llave; cada interruptor se acciona mediante un movimiento de apertura.

Las puertas traseras regularmente solo se pueden abrir con llave, aunque hay algunos casos en que éstas están disponibles para el operador. Al quitarle el seguro de la puerta trasera, se detiene el motor de la bomba y se interrumpe el suministro de energía.

En la parte posterior de la máquina está instalada una válvula piloto de seguridad hidráulica de dos posiciones; esta válvula piloto opera una válvula de seguridad ubicada al lado opuesto del operador de la unidad de cierre, Cuando la compuerta delantera o trasera están abiertas mas de una pulgada, los interruptores de limitación de seguridad accionan la válvula piloto para cerrar la válvula de seguridad, lo que impide el movimiento de la unidad de cierre.

Cerrojo de seguridad

El cerrojo de seguridad impide que la parte móvil de la unidad de cierre se cierre cuando se abre la compuerta delantera de seguridad.

Cuando la compuerta de seguridad se abre 4 pulgadas el cerrojo de seguridad se acopla para evitar el cierre de la unidad de cierre.

Interrupción de alimentación inesperada

En caso de una interrupción inesperada de la alimentación se detiene todo el movimiento de la máquina, se apaga la bomba hidráulica, las bandas calefactores dejan de funcionar y todas las demás funciones se detienen de inmediato.

9. EL MOLDE “PARTE FUNDAMENTAL EN EL PROCESO”

Los moldes de inyección son arreglos de varios elementos ensamblados fijos y móviles que generan un espacio con la forma del producto deseado, entre una parte llamada cavidad y otra llamada corazón. Y los cuales tienen como propósito elaborar una alta cantidad de piezas en un tiempo determinado.

La función básica de un molde es la de distribución y acomodo de la masa plástica fundida, formación del producto, enfriamiento, solidificación del material y expulsión de la pieza. El molde recibe el material plástico fundido a una temperatura que va de 177°C a 372 °C, según el tipo de materia prima, con presiones que van desde 340 kg/cm² hasta 1361 kg/cm².

Durante el moldeo por inyección, el material sale por una boquilla (proveniente del cañón) y pasa a través de un bebedero, hasta los canales o venas de alimentación y entonces entra al punto de inyección del molde. Las cavidades son mantenidas a temperaturas que van desde los 5°C hasta los 85°C según el plástico.

Normalmente los moldes de inyección se elaboran de acero, aunque también se utilizan aleaciones de berilio-cobre y otros materiales no ferrosos. El diseño del molde de inyección determina el tamaño, forma, dimensiones y acabados del producto final, por lo que es sumamente conveniente tener en cuenta ciertos aspectos que proporcionarán mejor funcionamiento del mismo.

- Ø Diseño de la pieza.
- Ø Selección del material plástico.
- Ø Contracción del producto.
- Ø Capacidad de la maquina de inyección.
- Ø Distancia entre barras guía.
- Ø Altura mínima del molde.
- Ø Distancia máxima de apertura de platinas.
- Ø Zonas de venteos.

En el cierre del molde las cavidades alojan aire atrapado, el cual debe ser expulsado rápidamente por unas pequeñas ranuras localizadas estratégicamente y con dimensiones específicas para cada material, ya que si el aire no es liberado el plástico inyectado lo comprimirá y surgirá una pequeña explosión que dejará una marca en el producto final.

Ø Sistemas de expulsión

El empleo de mecanismos de expulsión y extracción de la pieza está determinado por la geometría de la parte plástica y su posición dentro del molde. Estas pueden ser expulsión neumática, en donde se hace entrar una corriente de aire dentro del molde que se encargará de desmoldar la pieza. Otro mecanismo es el hidráulico, en el cual un componente del molde se mueve con la ayuda de un pistón de la maquina y provoca la liberación de la pieza

- Ø Materiales para construcción.
- Ø Producción esperada.
- Ø Transferencia de calor
- Ø Coeficiente de fricción.

Para poder controlar el comportamiento dimensional de las piezas inyectadas, la cavidad del molde debe mantener una temperatura uniforme, por lo cual se debe de considerar el coeficiente de transferencia de calor de cada material para impedir que la pieza se deforme de algún lado.

El molde actúa como un intercambiador de calor, donde en breves instantes suceden varias cosas.

- Ø Caída de presión del material fundido que fluye en un canal de una sección y longitud determinada.
- Ø Disminución de temperatura debido al enfriamiento del material por contacto con las paredes del molde.
- Ø Enfriamiento de la pieza, la posibilidad que permite determinar el tiempo de solidificación que establece la duración del ciclo y la productividad del sistema máquina-molde
- Ø Construcción de la pieza moldeada. La previsión cuidadosa de las dimensiones y tolerancias factibles, reduce la posibilidad de errores en el diseño y construcción del molde.

9.1 ELEMENTOS DEL MOLDE

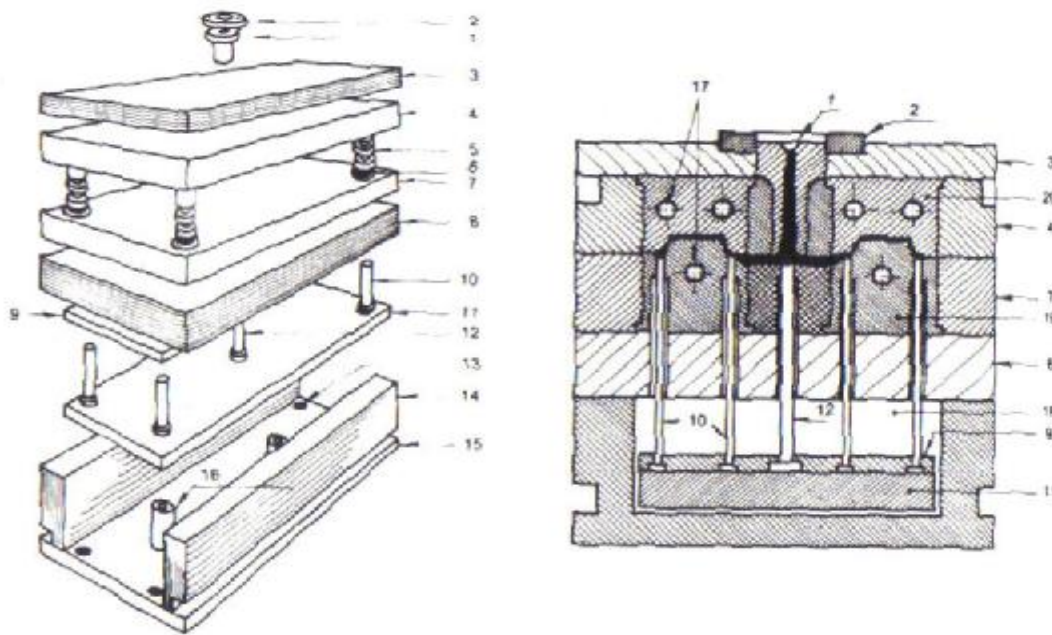


Figura 9.1 Elementos del molde⁽¹⁸⁾

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Bebedero. | 13. Tope. |
| 2. Anillo de centrado. | 14. Paralelas o espaciadoras. |
| 3. Placa superior de fijación. | 15. Placa inferior de fijación. |
| 4. Placa fija porta cavidades. | 16. Columnas soporte. |
| 5. Columnas guías. | 17. Canales de refrigeración. |
| 6. Casquillos guía. | 18. Cajas de sistema expulsor. |
| 7. Placa móvil porta cavidades. | 19. Núcleo porta corazón . |
| 8. Placa soporte. | 20. Núcleo porta cavidad |
| 9. Placa de fijación de expulsores. | |
| 10. Espigas extractoras. | |
| 11. Plato extractor. | |
| 12. Varilla de retención. | |

9.2 FUNCIONES BÁSICAS DE LOS COMPONENTES DEL MOLDE

- Ø **Placa superior de fijación:** Sujeta a la parte estacionaria del molde a la platina fija de la inyectora.
- Ø **Anillo de centrado ó sujetador de bebedero:** Se usa para localizar al molde en la platina fija y hacer que el bebedero del molde y nariz del cañón estén en la misma línea. La tolerancia para el ajuste del anillo es de 0.000plg y 0.002plg. El anillo se maquila a 0.010plg menos en diámetro que el diámetro de la apertura de la platina, lo que da un claro de 0.005plg por lado. Si existiera un claro mayor, ocasionaría desalineamiento del molde respecto a la nariz de la máquina.
- Ø **Placa fija porta cavidades:** Es parte de la sección estacionaria del molde que además fija y retiene a los pernos guía, también sujeta corazones y el bebedero en el extremo del anillo centrador. Tiene un radio específico de $\frac{1}{2}$ plg o de $\frac{3}{4}$ plg para ajustar con el radio de la nariz del cañón.
- Ø **Pernos guía:** son pernos encargados de darle dirección a cada placa del molde, se fabrican con una tolerancia de 0.00plg y 0.0005plg, los bujes se hacen con 0.05plg arriba del nominal y una tolerancia de 0.000plg y 0.0005plg. Esto garantiza un juego máximo entre perno guía y buje de 0.0005plg lo que asegura una buena alineación
- Ø **Placa móvil porta cavidades:** es la placa superior de la sección móvil del molde. Forma la línea de partición del molde con la placa fija porta cavidades; se usa para soportar los bujes de los pernos guía y los corazones.
- Ø **Placa de soporte:** está montada atrás de la placa móvil porta cavidades para proteger a está de la flexión causada por la alta presión de inyección.
- Ø **Placa inferior de fijación:** sujeta la parte móvil del molde a la platina móvil de la máquina.
- Ø **Paralelas o espaciadoras:** Están montadas sobre la placa inferior bajo la placa soporte para formar un espacio que permita a la barra moverse para expulsar las piezas terminadas.
- Ø **Placa de fijación de expulsores:** sirve como alojamiento para las cabezas de los pernos botadores, pernos recuperadores y perno jalador de colada.
- Ø **Placa botadora:** está atornillada con la placa de fijación de los expulsores y de igual forma sirve para expulsar el producto terminado.

- Ø **Espaciadores:** se fijan entre la placa inferior, ayudan a soportar la placa botadora, son sus topes.
- Ø **Columnas soportes:** son barras redondas colocadas entre la placa soporte y la placa inferior, tienen la misma altura que las paralelas, se atornillan a la parte inferior y sirven de soporte adicional para la placa móvil porta cavidades, estos pilares reducen los esfuerzos de compresión-flexión.
- Ø **Bebedero:** la función del bebedero es permitir el flujo de material fundido hacia el interior del molde. En el orificio del bebedero se aloja la mazarota del material plástico. El diámetro del canal del bebedero debe incrementarse en una conicidad aproximadamente de 1 a 4 desde la boquilla hasta el interior del molde. El dimensionamiento de las superficies en contacto tienen una relevante importancia ya que deben cumplirse dos condiciones básicas.
 1. El radio de la curvatura de la punta de la boquilla debe ser menor que el radio de la concavidad del bebedero.
 2. El diámetro del orificio de la boquilla debe ser menor al diámetro del orificio del bebedero.
- Ø **Sistemas de distribución:** se utilizan para transportar el material plástico fundido desde la boquilla de la máquina hasta las cavidades del molde de manera uniforme y cuidando que el flujo sea uniformemente distribuido en las diferentes cavidades.
- Ø **Canales de distribución de material:** representan la parte que une la mazarota con las cavidades del molde y cuyo principal objetivo es conducir el material plástico hacia todas ellas simultáneamente a la misma presión y temperatura. La sección transversal de los canales de distribución influye en la manera en que puede llevarse a cabo la presión de sostenimiento ya que cuando el material plástico es inyectado se crea una capa de material frío en las paredes del canal que reduce el área de acceso para el resto de la masa fundida. La relación superficie/volumen de los canales de colada debe ser lo menor posible, con el fin de ahorrar material y minimizar las pérdidas de calor, así como la caída de presión. La sección de los canales tiene relación directa con el espesor y tamaño de la pieza y el material plástico empleado; si la sección es muy grande la refrigeración se dificulta y el tiempo de ciclo se incrementa.

Sistema de ventilación.

Las ranuras de venteos de un molde de inyección son las vías de escape del aire contenido en las cavidades y los gases generados en el calentamiento del material. La inexistencia de este sistema, o simplemente la mala ubicación, provocará que la cavidad sea llenada con más dificultad ya que el aire contenido en ella enfría el frente plástico y actúa como una fuerza contraria al flujo provocando una caída de presión prematura. Esto causa piezas incompletas, líneas de soldadura débiles y puntos quemados.

Generalmente el sistema de ventilación se localiza sobre el plano de partición del molde, a lo largo del sistema de distribución, en las últimas zonas de llenado en piezas con un solo punto de inyección.

La siguiente tabla muestra las dimensiones que deben de tener los venteos de los moldes dependiendo del material a utilizar.

<i>Material</i>	<i>Profundidad (plg)</i>	<i>Largo (plg)</i>
ABS-SAN	0.002-0.003	0.030-0.050
POM	0.0005-0.0015	0.040-0.050
PMMA	0.0015-0.003	0.040-0.050
PA	0.0005-0.001	0.020-0.040
PC	0.001-0.003	0.030-0.050
PET	0.0005-0.0015	0.030-0.050
PE	0.001-0.002	0.020-0.040
PP	0.001-0.002	0.020-0.040
PS	0.001-0.003	0.030-0.050
PVC-R	0.001-0.003	0.040-0.050
PVC-F	0.0005-0.002	0.030-0.050

Tabla 9.1 Dimensiones comunes en las ranuras de los venteos⁽¹⁸⁾

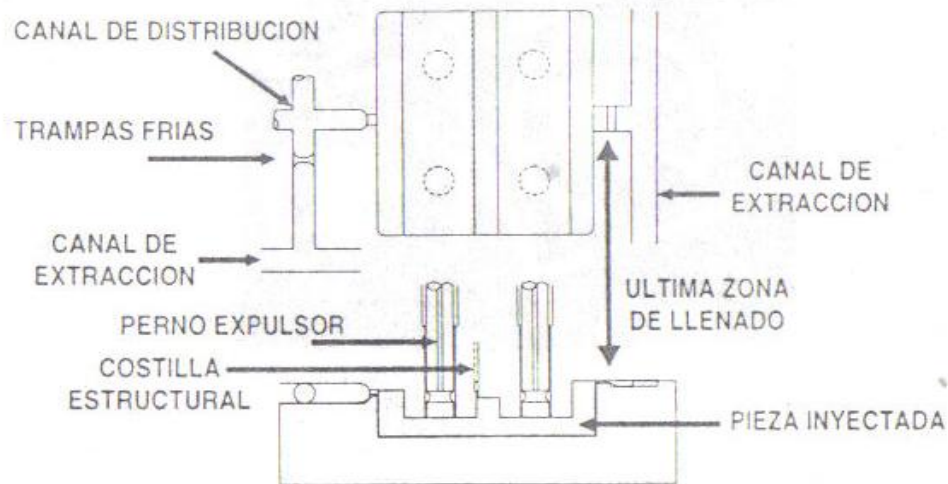


Figura 9.2 Sistema de ventilación⁽¹⁰⁾

Control del punto de inyección

El punto de inyección conecta el sistema de distribución con cada cavidad y controla el flujo de material en ese sentido. El valor de la longitud del punto de inyección debe ser lo mas bajo posible para disminuir la oposición al flujo del plástico. Es recomendable ubicar el punto de inyección en la sección de mayor espesor de la pieza para asegurar que exista espacio suficiente para el ingreso del plástico y sea posible mantener la presión sobre el mismo, que se encuentra en la cavidad hasta que el punto de inyección se enfríe.

El punto de inyección puede ser el responsable de problemas de apariencia de la pieza como color irregular o marcas de flujo de material. A mayor tamaño del punto de

inyección se facilitará el llenado de la cavidad, pero tardará más tiempo en enfriarse por lo que el ciclo se elevará.

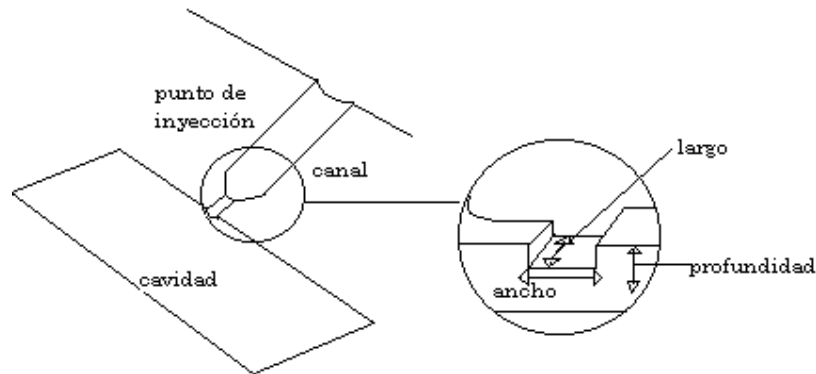


Figura 9.3 Dimensiones del punto de inyección⁽¹⁰⁾

Profundidad: aproximadamente el 50% del espesor de la pieza.

Ancho: dos veces la profundidad del punto de inyección.

Largo: lo menos posible, aproximadamente el 50% de la profundidad del punto de inyección.

En la siguiente tabla se pueden observar las dimensiones recomendadas que debe de poseer el punto de inyección para no alterar el ciclo del proceso ni aumentar la colada, lo que representa material usado sin aprovechamiento óptimo.

Tamaño del producto	Peso(g)	Altura(mm)	Ancho(mm)	Sección transversal(mm ²)
Muy pequeño	0-5	0.25	0.75	0.19
Pequeño	5-40	0.50	1.50	0.75
Mediano	40-200	0.75	2.25	1.69
Grande	>200	1.00	3.00	3.00

Tabla 9.2 Valores del punto de inyección estándar⁽¹⁰⁾

9.3 MOLDE DE COLADA FRÍA

Se conoce como molde de colada fría ya que no presenta ninguna calefacción para fundir el material dentro de él y de esta forma mandarlo a las demás cavidades. Puesto que solo cuenta con una cavidad, la cavidad del molde se monta en la platina fija, mientras que el corazón del molde se monta en la platina móvil, el bebedero central va situado en la mitad fija del molde y alimenta directamente al sistema, normalmente la mitad móvil (corazón) es la que se encarga de albergar los sistemas de extracción que pueden ser efectuados de forma tanto mecánica como neumática, o una combinación de estas.

9.4 MOLDE DE COLADA CALIENTE

Los moldes de colada caliente se utilizan para mantener el material en estado fundido hasta la misma entrada de la cavidad.

Los sistemas de colada caliente constan de los siguientes componentes.

- Ø **Manifolds:** son placas distribuidoras del plástico que entra hacia el molde. Son diseñadas para contener los torpedos y dar un máximo de soporte hacia las cavidades, estas placas son generalmente de acero inoxidable.
- Ø **Flujo balanceado:** los manifolds están diseñados para que cada canal tenga la misma presión de salida hacia el torpedo y el punto de inyección.
- Ø **Canales de manifolds:** estos canales se encargan de distribuir el flujo para que éste no tenga obstrucciones y de esta forma prevenir la degradación del material plástico. Todas las esquinas y cambios de dirección son redondeados de tal manera que se presenta una minoría en las caídas de presión.
- Ø **Torpedos:** estos pueden ser calentados externa o internamente, y cuyas resistencias tienen una precisión de $\pm 2\%$, esto con el fin de tener una uniformidad de temperaturas en ellos. Generalmente están hechas de acero endurecido y tienen las puntas roscadas para ser remplazadas con facilidad; están construidas de una aleación cobre-berilio y recubiertas con níquel o cromo.

9.5 UNIFORMIDAD DE TEMPERATURA

Sin uniformidad de temperatura, el plástico experimenta diferencias en viscosidades. Esto afecta el balance del flujo dentro del sistema, los puntos calientes causarán degradación térmica del plástico, mientras que los puntos fríos causarán restricciones de flujo.

Existen dos requerimientos básicos energéticos de calor para evaluar las necesidades del mismo.

- Ø **Calentamiento requerido:** es la energía que se dará al proceso para llegar a la temperatura de operación.
- Ø **Calor requerido para mantener la temperatura de operación:** es la energía requerida para mantener la temperatura de operación a condiciones normales de trabajo.

Se aplica un factor de seguridad para evitar condiciones no inesperadas en el requerimiento de calor del molde, el cual es de un 15% el cual se aplica en el cálculo del calor de calentamiento y de operación.

Requerimientos de calor

Q_A: Calor requerido para incrementar la temperatura del material para el punto de operación, en un tiempo designado.

Q_B: Calor requerido para incrementar la temperatura del material durante el ciclo de operación.

Q_C: Calor requerido para llevar a cabo la fusión del material durante el período de calentamiento inicial.

Q_D: Calor requerido para la fusión del material durante el período de ciclo de operación

L: Pérdidas de calor en la superficie, ocasionadas por conducción, radiación y convección.

$$Q_A = \frac{W * Cp * \Delta T}{3.412} [W_A] \quad (9.1)$$

W = Flujo másico del material (lb/h)

Cp = Calor específico del material (BTU/lb°F)

ΔT = Temperatura final – temperatura inicial del material (°F)

W_A = watts requerido para incrementar la temperatura del material para el punto de operación, en un tiempo designado.

$$Q_B = \frac{W * Cp * \Delta T}{3.412} = [W_B] \quad (9.2)$$

W = Flujo másico del material (lb/h)

Cp = calor específico del material (BTU/lb°F)

ΔT = temperatura final – temperatura inicial del material (°F)

W_B = Watts requerido para incrementar la temperatura del material durante el ciclo de operación

$$Q_C = \frac{W * Hf}{3.412} = [W_C] \quad (9.3)$$

W = Flujo másico del material (lb/h)

Hf = calor latente de fusión del material (BTU/lb)

W_C = Watts requerido para llevar a cabo la fusión del material durante el período de calentamiento inicial.

$$Q_D = \frac{W * H_V}{3.412} = [W_D] \quad (9.4)$$

W = Flujo másico del material (lb/h)

H_V = calor latente de vaporización del material (BTU/lb)

W_D)

Perdidas por conducción en el molde

$$Q_{L1} = \frac{k * A * \Delta T * te}{3.412 * l} = W * h \quad (9.5)$$

k: conductividad térmica del material (BTU*plg/pie²*°F*h).

A: superficie de la transferencia de calor (pie²).

l: espesor del material (plg).

ΔT: diferencia de temperaturas a lo largo del material (°F).

te: tiempo de exposición (h).

La tabla 9.3 muestra los valores de la conductividad térmica (a 100°C) de los materiales más utilizados para la elaboración de moldes de inyección; así como de algunos termoplásticos.

<i>Metales</i>	$k(BTU*plg/pe^2*°F*h)$	<i>Plásticos</i>	$k(BTU*plg/pe^2*°F*h)$
Acero inoxidable	10	Poliestireno	0.07
Cobre berilio	62	Polipropileno	0.07
Aluminio	100	Nylon	0.14
Acero H-13	12	Polietileno	0.18

Tabla 9.3 Valores de conductividad térmica 100°C¹⁸

Pérdidas por radiación.

$$Q_{L2} = A * F_{sl} * e * t_e \text{ [Wh]} \quad (9.6)$$

A: superficie (plg²).

F_{sl}: factor de pérdidas por radiación (W/plg²) evaluado sobre la temperatura de la superficie.

e: emisividad del material.

t_e: tiempo de exposición (h).

Pérdidas por convección.

$$Q_{L3} = A * F_{sl} * C_f * t_e \text{ [W*h]} \quad (9.7)$$

A: superficie (plg²).

F_{sl}: superficie vertical de pérdidas .

C_f: factor de orientación de la superficie del molde

Extremo superior horizontal = 1.29.

Extremo superior vertical = 1.00.

Extremo inferior horizontal = 0.63.

t_e: tiempo de exposición (h).

Por lo que las pérdidas de calor serian:

$$Q_P = Q_{L1} + Q_{L2} + Q_{L3} \quad (9.8)$$

El calor de calentamiento resultaría:

$$C_c = \left[\frac{Q_A + Q_C}{ts} + \frac{2}{3} \left(\frac{Q_L}{te} \right) \right] * (1 + F_s) \quad (9.9)$$

ts = Tempo de calentamiento (h)

te = Tiempo de exposición (h)

F_s = Factor de seguridad para diseño (0.15)

El calor de operación resultaría:

$$C_o = \left[\frac{Q_B + Q_D}{t_c} + \left(\frac{Q_L}{t_{ex}} \right) \right] * (1 + F_{seg}) \quad (9.10)$$

t_c = Tempo de calentamiento (h)

t_{ex} = Tiempo de exposición (h)

F_{seg} = Factor de seguridad para diseño (0.15)

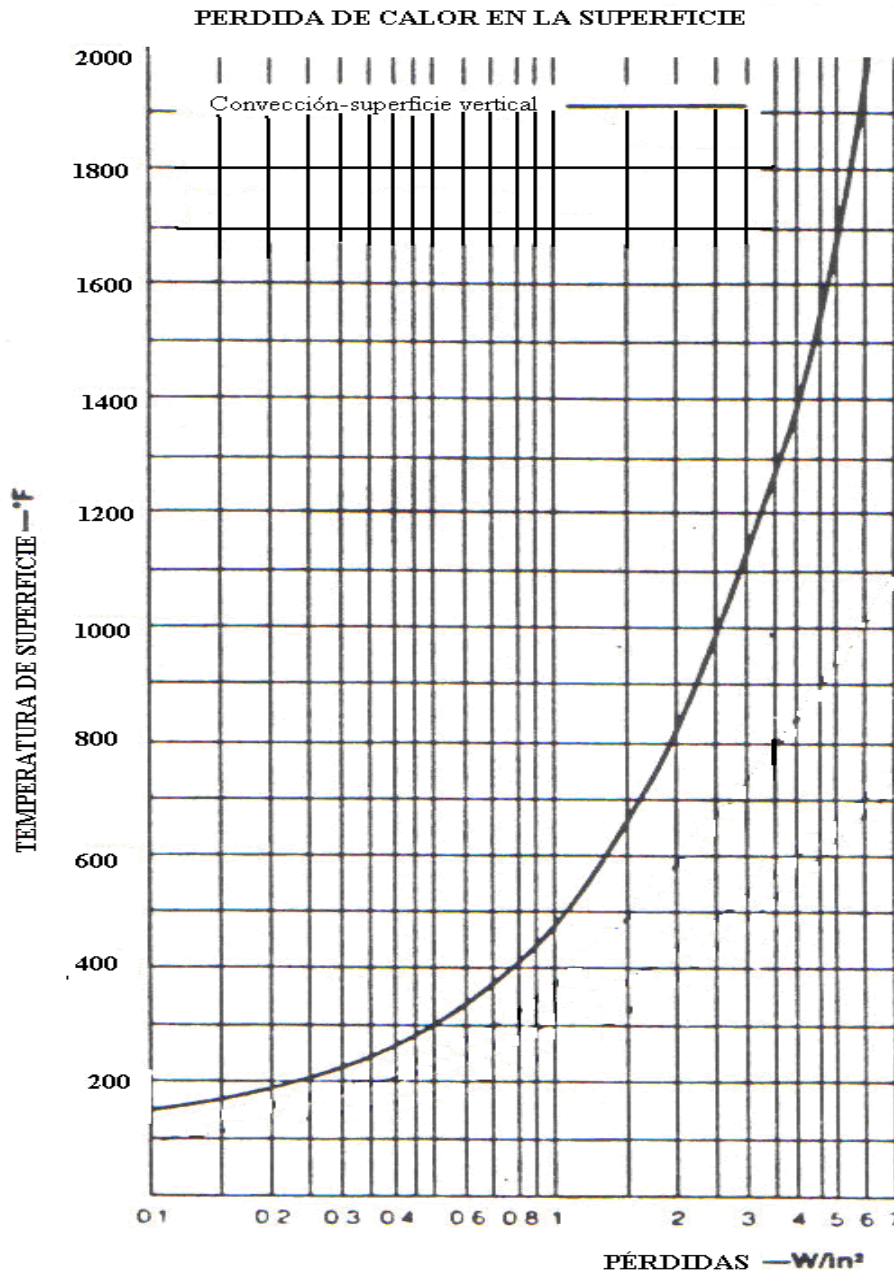


Figura.9.4 Gráfica para determinar el factor F_{sl} (W/In^2)¹⁸

10. SERVICIOS AUXILIARES EN EL PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN

Los servicios auxiliares son sistemas adjuntos al proceso principal cuyos objetivos son los siguientes:

- Ø Transportar materiales hasta el lugar del proceso.
- Ø Adecuar la maquinaria para agilizar el proceso.
- Ø Transportar las piezas terminadas.

El uso de equipos auxiliares tiene una importancia trascendental. Debido a la amplia variedad de funciones que desarrollan los equipos auxiliares, no existe una sola clasificación, por lo que se han agrupado según el tipo de función que desarrollan dentro del proceso.

- Ø Transporte de materia prima.
- Ø Mezclado y dosificación.
- Ø Secado y dehumidificación de materia prima.
- Ø Transferencia de calor.
- Ø Manejo y transporte de producto terminado.

10.1 SISTEMAS DE TRASPORTE

TRASPORTE DE MATERIA PRIMA

Aquí se encuentran los equipos que se encargan de llevar la materia prima desde los lugares de almacenamiento hasta las máquinas. Los siguientes puntos son importantes de considerar para un óptimo transporte de material plástico.

1. Forma y tamaño del material.
2. Características del flujo.
3. Nivel de producción.
4. Forma de recepción y almacenaje de material.

- Ø Transporte manual.

La forma más básica consiste en transportar manualmente o por medio de montacargas el material en sacos hasta las tolvas de las máquinas. Esta operación depende de la capacidad de la tolva y puede ser requerido hasta 4 veces en una hora, aumentado que se corre el riesgo de que la tolva se quede sin material y el proceso tenga que detenerse por unos momentos, de igual forma el material está más propenso a contaminarse.

- Ø Cargadores individuales.

El sistema de automatización inicia con sistemas de carga de tolva que por medios neumáticos se encargan de llenar la tolva de material que se encuentra ubicado en contenedores junto a la máquina, que pueden almacenar todo el material que se puede utilizar en un día. En estos sistemas se instala un sensor en la parte inferior de la tolva para indicar cuándo el material está próximo a terminarse. Inmediatamente se inicia la

alimentación de material a la tolva. De la misma forma posee un sensor que indica cuando la tolva ya está llena.

Los cargadores individuales trabajan por medio de vacío, logrando el ascenso del material por succión a través de los conductos.

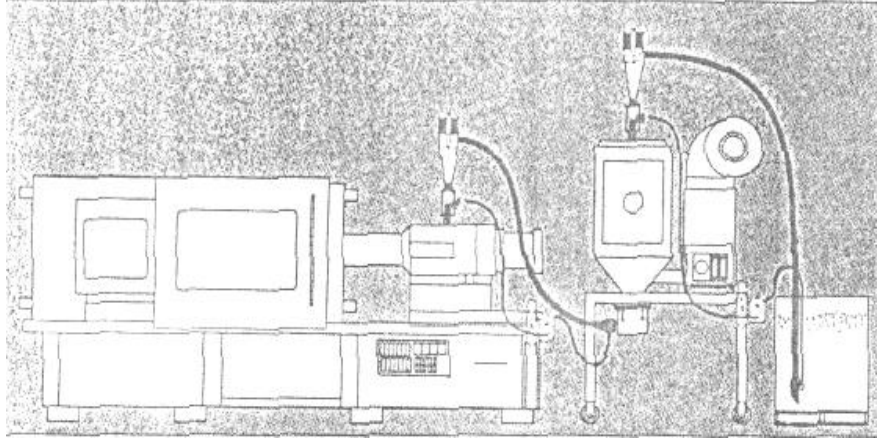


Figura 10.1: Cargador de material individual.

EQUIPOS DE DISTRIBUCIÓN CENTRALIZADOS

El sistema consiste en una unidad de vacío que tiene una potencia mucho mayor que los cargadores individuales, ya que las distancias a recorrer suelen ser mas grandes. Las bombas pueden ser diseñadas dependiendo de la cantidad de material a trasportar.

Cada máquina debe contar con una tolva receptora de materia prima, conectada permanentemente a la línea de vacío central y a la línea de abastecimiento de materia prima. Esta tolva también cuenta con sensores que marcan el nivel de material dentro de ella.

Cuando se requiere la alimentación de mas de un componente, se utilizan tolvas con válvulas proporcionales de dos entradas y una salida. Estas válvulas están controladas de tal forma que se indica a la válvula la proporción de cada componente. Estas válvulas únicamente permiten el paso de un material a la vez controlando de esta forma la proporción de los materiales.

BANDAS TRASPORTADORAS

Las bandas trasportadoras son básicamente cintas sin fin que tienen movimiento por medio de un motor de velocidad ajustable. La banda trasportadora hace mas eficiente el manejo del producto terminado, evitando ralladuras, golpes e incluso contaminación del producto.

Los puntos más importantes a considerar en una banda trasportadora son:

- Ø Durabilidad del motor.
- Ø Resistencia de la cinta trasportadora.
- Ø Rango de variación de velocidades.

- Ø Facilidad de ajuste a varias alturas e inclinaciones.
- Ø Carga máxima a soportar.
- Ø Acabado.

10.2 EQUIPOS DE MEZCLADO Y DOSIFICACIÓN

En la industria es importante contar con sistemas que tengan la capacidad de mezclar el material ya que muchos productos procesados contienen mas de un componente. Por lo que hace necesaria la elaboración de una mezcla de ellos. De igual manera, la industria cuenta con dispositivos avanzados que permiten la elaboración de la mezcla en un contenedor, de tal forma que estos dispositivos no cuentan con los problemas típicos de mezclado que son: mala proporción de cada componente, proporción inadecuada de aditivos, tiempo de mezclado insuficiente, etc.

- Ø Mezcladores simples.

Estos dispositivos constan de un recipiente de capacidad aproximada de 150-200 kilos en los que se agregan los componentes previamente pesados, siguiendo las especificaciones del producto.

Los contenedores, parcialmente llenos, se hacen girar durante períodos que oscilan entre los 5 y 15 minutos. Una vez terminado el tiempo de mezclado, se extrae el contenido manualmente. El funcionamiento de los contenedores puede ser manualmente o mecánicamente con la ayuda de un motor.

- Ø Dosificadores volumétricos.

Estos dispositivos funcionan por medio de una tolva donde se coloca el material y otra donde se coloca el pigmento o cualquier aditivo a agregar.

El flujo de los materiales se encuentra controlado volumétricamente, por medios de husillos que giran a una velocidad controlada, que dosifican un volumen exacto de material o de algún aditivo, hacia un contenedor central donde los materiales son integrados de manera intensa por un sistema de aspas que crea una turbulencia. La mezcla realizada puede pasar entonces a la garganta del cañón de la máquina.

La conveniencia del uso de mezcladores está muy por encima de sus costos, ya que tiene una mayor consistencia en la producción, reducción de rechazos, optimización de la mano de obra y menor desperdicio de aditivos de alto costo.

- Ø Dosificadores gravimétricos.

Estos sistemas trabajan mediante una celda gravimétrica que mide constantemente la cantidad en peso de cada material que se está agregando a la mezcla. Estos equipos son de mayor complejidad y precisión que el de tipo volumétrico y por lo tanto su precio es mayor.

10.3 EQUIPO DE SECADO

Según la naturaleza de los plásticos, éstos pueden clasificarse en higroscópicos y no higroscópicos. Los primeros son materiales que absorben humedad, y por consiguiente los segundos son materiales que no absorben humedad.

Es importante el secado de algunos materiales que absorben humedad del aire, ya que los efectos negativos que se pueden desarrollar durante el procesamiento de materiales higroscópicos son: la plastificación, la vaporización y la hidrólisis.

La plastificación se refiere a la acción del agua sobre la masa plástica que incrementa el flujo del material al ser moldeado.

Cuando aparecen burbujas y ráfagas en los productos, puede deberse a la vaporización del agua que se encuentra en contacto con el plástico, lo cual reduce la presión sobre la masa fundida.

La hidrólisis es un proceso de degradación del plástico debido al rompimiento de la estructura molecular del material, con lo cual disminuye su peso molecular y por consiguiente sus propiedades mecánicas.

Todo lo anterior conduce a un problema de procesamiento y de apariencia del producto final.

Los equipos auxiliares mas utilizados para el secado de materiales plásticos son:

- Ø Hornos
- Ø Secadores
- Ø Deshumidificadores

10.3.1 HORNOS

Estos equipos presentan una utilidad limitada debido a los bajos índices de circulación de aire, por lo que solo representan ventajas cuando la cantidad de material a secar es pequeña.

En estos equipos se recomienda que el material plástico no rebase los 3 centímetros de altura en cada charola, con el fin de asegurar buenos resultados. Después de secado el material debe de trasportarse de manera inmediata hacia el equipo de procesamiento para evitar que absorba nuevamente humedad al estar en contacto con el medio ambiente. El material no debe permanecer en la tolva mas de una hora sin ingresar a la zona de plastificación, además de que se debe de contar con un buen control en la temperatura de alimentación del cañón.

10.3.2 SECADORES

La humedad absorbida en diferentes medidas por los plásticos durante el transporte hasta el almacenamiento, causa problemas en las piezas moldeadas, que se manifiestan como disminución en la resistencia mecánica, variación en la contracción o marcas superficiales (manchas, burbujas, etc.).

Existen materiales que presentan una nula o escasa tendencia a la absorción de humedad como son las poliolefinas (PE). En cambio hay materiales que absorben muy fácilmente la humedad del medio ambiente y que son llamados higroscópicos como es el caso del PET.

El hecho de que un material sea higroscópico es debido a que en su estructura molecular presenta elementos muy electronegativos que originan la formación de enlaces de puente de hidrógeno con el agua y lo que sucede al secarlos es precisamente romper el puente de hidrógeno y eliminar la humedad.

En estos equipos el material plástico se encuentra alojado en una tolva en cuya parte inferior ingresa aire previamente filtrado y calentado. Presenta un filtro de succión que captura partículas contaminantes para evitar que tengan contacto con el plástico. A la salida se encuentra un filtro que evita que cualquier partícula fina de plástico sea esparcida.

El flujo de aire asciende atravesando capas de gránulos removiendo la humedad superficial.

SECADORES PARA PET.

Los puntos esenciales en la selección de un secador son asegurar un buen flujo del polímero, distribución uniforme del gas a través del polímero y obtener un gradiente mínimo de temperatura entre la longitud y radio de la columna. Debido a que la resina está ya cristalizada, no se requiere de un precristalizador antes del secado tal como se requiere con el polímero amorfo.

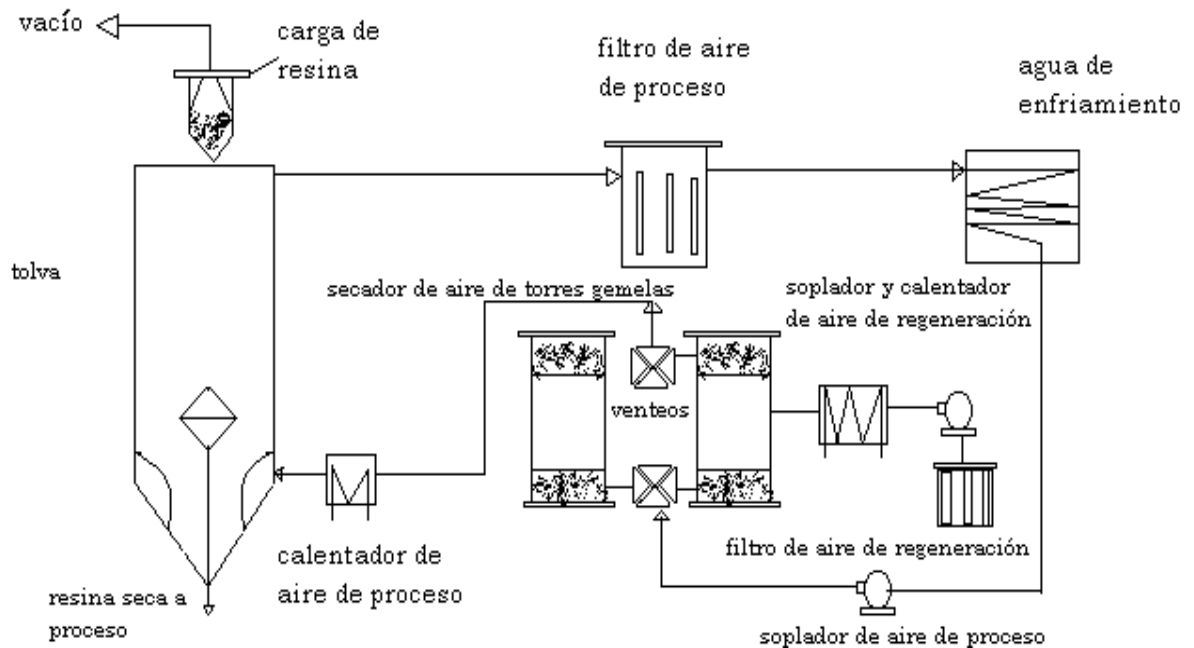


Figura 10.2 Diagrama de un secador para PET.¹⁶

Principales problemas que deben ser considerados en un secador

En una operación eficiente, con un buen cumplimiento de los requerimientos básicos del secado, los problemas deben ser mínimos. Sin embargo, los siguientes puntos deben ser considerados:

1. Filtro del aire

Los filtros protegen al aire del polvo y su limpieza en forma rutinaria es esencial. Se debe tener mucho cuidado para no dañar los filtros ya que disminuirá su eficiencia en el secado.

2. Mal funcionamiento.

Si ocurre algún bloqueo o falla mecánica del enfriador del aire, se provoca una pérdida de la eficiencia en la capacidad de regeneración del desecante, incrementándose el punto de rocío y disminuyendo su capacidad de captación de humedad.

1. Fallas del calentador.

Las fallas en el calentador de aire pueden presentarse debido a:

- a) Incapacidad para alcanzar la temperatura correcta de secado.
- b) Incapacidad para alcanzar la temperatura adecuada para la regeneración del desecante.

4. Ingreso del aire ambiental.

El aire del medio ambiente siempre estará húmedo comparado con el gas de secado. Si alguna cantidad de este aire es introducido en el sistema, se producirá una variación en el punto de rocío y por lo tanto en la eficiencia del secado.

5. Transporte del chip seco.

Si el secador no está colocado encima del inyector, es esencial que los granulados de PET sean transportados con aire seco con una temperatura y punto de rocío equivalente al gas de secado. De no hacerlo así se puede provocar la humidificación del granulado con los subsecuentes efectos negativos sobre su procesamiento, claridad del producto y degradación hidrolítica.

10.3.3 DESHUMIDIFICADORES

La diferencia fundamental que existe entre un secador y un deshumidificador, es que en el deshumidificador antes de hacer pasar el aire a través del material plástico, es tratado con agentes deshumectantes, esto con el fin de reducir el punto de rocío del aire. La humedad del plástico es transferida hacia el aire gracias a la diferencial de presiones del vapor de agua y el material plástico. El material higroscópico contiene agua absorbida

en el interior del granulo. La presión interna del granulo obliga al agua a migrar a la superficie dejándola expuesta ante la continua corriente de aire caliente y seco.

Los deshumidificadores son sistemas cerrados que no son influenciados por las condiciones ambientales. Su uso es necesario para el tratamiento de materiales higroscópicos especialmente cuando la humedad del aire es elevada.

10.4 EQUIPOS Y MEDIO DE ENFRIAMIENTO

En la industria del procesamiento de plásticos por el método de inyección es fundamental contar con equipos de enfriamiento, ya que es necesario mantener controlada la temperatura de varios elementos de la máquina de inyección, así como poder otorgar un enfriamiento adecuado al producto terminado.

10.4.1 AGUA DE ENFRIAMIENTO

Hay varios intervalos de temperatura del agua de enfriamiento los cuales están dados por diferentes equipos, (por ejemplo una torre de enfriamiento)0 y los cuales tienen un uso determinado en el proceso como es el caso de la temperatura del agua de enfriamiento que proporcionan.

1. 20°C - 140°C, este rango de temperatura está esencialmente proporcionado por termostatos que calientan y controlan la temperatura del medio refrigerante, para los moldes utilizados en el proceso de inyección de plásticos.
2. 15°C - 30°C, para lograr estas temperaturas se necesita una torre de enfriamiento, que esencialmente se utiliza para mantener el aceite hidráulico que se utiliza en el proceso de inyección para no sobrepasar los 60°C, de esta forma se mantiene un buen control en la viscosidad del aceite.
3. -6°C - 12°C, este rango es alcanzado por equipos conocidos como chillers, que ofrecen temperaturas que fluctúan dentro de este rango.

10.4.2 TORRES DE ENFRIAMIENTO

Una torre de enfriamiento es un sistema abierto de intercambio de calor donde se pone en contacto directo una corriente de agua y otra de aire.

El agua proveniente del proceso ingresa a la torre de enfriamiento donde debe dividirse en gotas diminutas para poder así incrementar el área de contacto con la corriente de aire que se encarga de absorber el calor del agua, lo cual provoca su enfriamiento. El agua enfriada se acumula en una charola desde la cual es bombeada hacia el área de proceso.

Es conveniente que el aire entre a menor humedad, ya que así la eficiencia del equipo aumentará y menor será la temperatura del agua que recirculará al proceso. Por lo anterior es conveniente ubicar las torres de enfriamiento en lugares abiertos, esto con el fin de que trabajen siempre con aire fresco.

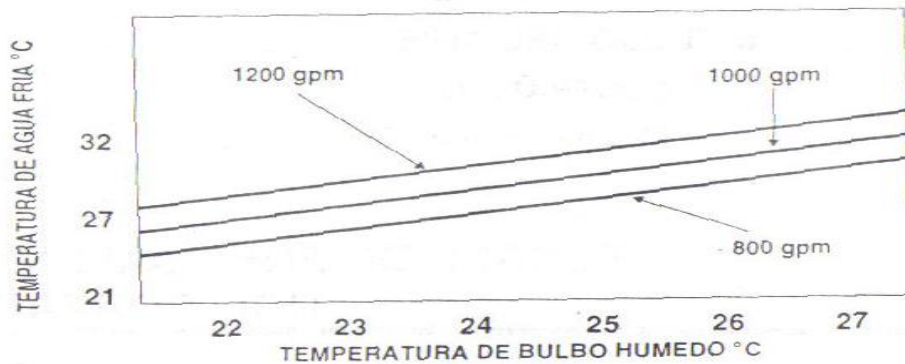


Figura 10.3 Curva de desempeño en una torre de enfriamiento¹⁰

Los problemas más comunes asociados a las torres de enfriamiento de uso industrial son:

Ø Formación de incrustaciones.

Hace referencia a la formación de depósitos duros, normalmente sobre superficies calientes, que reducen la eficiencia del intercambiador de calor encargado de controlar la temperatura del aceite. Las incrustaciones cálcicas (carbonato de calcio, sulfato de calcio y fosfato de calcio) son las principales causantes de los problemas de incrustación que se producen en las torres de enfriamiento; las incrustaciones magnésicas (carbonato y fosfato de magnesio) también pueden provocar problemas de incrustaciones; los depósitos de sílice son especialmente difíciles de eliminar de las superficies de intercambiadores de calor (reguladores de la temperatura del aceite), pero la mayoría de las aguas contiene cantidad relativamente pequeña de sílice.

La reducción del potencial de formación de incrustaciones en el agua residual se lleva a cabo controlando la formación de fosfato de calcio, que es la primera sal cálcica en precipitar (siempre y cuando haya fosfatos presentes).

Ø Corrosión de metales.

En los sistemas de refrigeración, el fenómeno de corrosión se puede producir cuando se crea una diferencia de potencial eléctrico entre las superficies de metales diferentes, la celda de corrosión consisten en un ánodo donde se produce la oxidación de uno de los metales y un cátodo en el que se produce una reducción del segundo metal.

Ø Crecimientos biológicos.

La calidad del agua tiene una gran influencia sobre la corrosión de los metales. La presencia de nutrientes, especialmente N y P, y de compuestos orgánicos favorece aun más el crecimiento de microorganismos que se pueden adherir y depositar sobre las superficies del intercambiador de calor, encargados de controlar la temperatura del aceite, dificultando la transferencia de calor y el flujo del agua. Los crecimientos biológicos pueden también sedimentarse y ligarse con otros residuos presentes en el agua de enfriamiento, lo cual puede dificultar aun más la eficiencia de transferencia de calor, el uso de aguas residuales recuperadas puede obligar a la adición de dosis mayores de biocidas, ya que contiene mayor cantidad de materia orgánica.

Ø Obturaciones.

Este término hace referencia al proceso de adhesión y crecimiento de depósitos de diferente naturaleza, sobre los elementos de los sistemas de refrigeración. Estos depósitos están formados por crecimientos biológicos, sólidos suspendidos, productos de la corrosión e incrustaciones inorgánicas. El problema que provocan es la inhibición de la transferencia de calor en los intercambiadores de calor (encargados de controlar la temperatura del aceite). El control de estos procesos se lleva a cabo mediante la adición de dispersantes químicos que evitan la formación de agresores de partículas que posteriormente sedimentan.

10.4.3 ENFRIADOR (CHILLERS)

El chiller es un equipo de enfriamiento de agua que se utiliza como medio indirecto para reducir la temperatura del plástico. El agua que se utiliza fluctúa entre los -6°C a los 12°C .

El funcionamiento de un chiller conlleva los siguientes pasos: el agua de enfriamiento a baja temperatura llega al molde y absorbe su calor, reduciendo su temperatura y permitiendo que el plástico que se está moldeando se enfríe con mayor rapidez. Posteriormente el agua a mayor temperatura pasa a un tanque donde entra en contacto con un serpentín metálico (evaporador) el cual conduce el refrigerante, regularmente es freón. Este absorbe rápidamente el calor del agua evaporándose dentro del serpentín y bajando la temperatura del agua hasta dejarla en condiciones de volver a circular en el proceso.

Posteriormente el freón, en su fase vapor, se somete a una alta presión por un compresor, que además sirve para conducir el vapor del refrigerante comprimido hasta un radiador en forma de bancos de tubos (condensador). El condensador se encuentra sometido a una corriente de aire ambiental, por medio de un ventilador, reduciendo así la temperatura del refrigerante para dejarlo en forma de líquido.

Determinación de toneladas de refrigeración

Se necesita conocer el flujo del producto que se requiera enfriar, es decir cuántos kilogramos por hora de producto se requiere enfriar $\Rightarrow m$.

Temperatura inicial del plástico, la temperatura a la que se encuentra el plástico cuando éste está saliendo por la boquilla del cañón $\Rightarrow T_1$.

Temperatura final del plástico, es la temperatura a la cual se encuentra el producto terminado inmediatamente después de ser expulsada del molde $\Rightarrow T_2$.

Calor específico del plástico $\Rightarrow C_p$.

1. Se determina la cantidad de calor a eliminar del plástico.

$$Q = m * c_p * (T_2 - T_1) = \text{kcal/h.} \quad (10.1)$$

2. Se determina la capacidad requerida en toneladas de refrigeración.

$$T.R. = Q/3024 \quad (10.2)$$

Se debe de considerar un 20% adicional de sobrecapacidad que proporciona la flexibilidad y capacidad de absorber posibles pérdidas por calor.

$$T.R._{diseño} = T.R._{requeridas} * 1.2 \quad (10.3)$$

10.5 MOLINO

Los molinos son dispositivos de trituración de material plástico, para su re aplicación en el proceso de materiales termoplásticos. Consta de los siguientes componentes.

- Ø Tolva.
- Ø Barra de impacto.
- Ø Motor.
- Ø Cuchillas.
- Ø Cuña.
- Ø Tamiz.
- Ø Sistema de evacuación.

Los molinos pueden ser alimentados de forma manual, con robot y almacenamiento intermedio de regranulado, alimentación con banda transportadora

- Ø La tolva es la parte donde se introduce el material a moler
- Ø Las cuchillas son los dispositivos encargados de la trituración del material
- Ø La barra de impacto, permite su adaptación a tamaño de pieza, esto para evitar que el rotor se bloquee. También permite adaptar el ángulo de entrada del producto a moler
- Ø La cuña reduce las variaciones de carga y evita pulsaciones durante la circulación del material en la cámara de molienda por lo que incrementa su eficiencia
- Ø El tamiz posee una superficie con orificios que determina el tamaño del material molido
- Ø Los sistemas de evacuación son los encargados de recibir el material molido, y van desde una charola hasta un mecanismo neumático que transporta el material molido a una unidad central.
- Ø El motor es el encargado de hacer girar las cuchillas.

Para el proceso de molienda se debe de contar con un sistema de vacío o una compuerta de entrada con cierre y apertura automáticos, que reduzcan la posibilidad de que los polvos resultantes de la molienda salgan del equipo y de esta forma protejan al personal

10.6 ROBOTS

El objetivo principal de estos mecanismos es el de realizar actividades de alto riesgo, sucias o excesivamente rutinarias que van en contra de la integridad física del personal. Entre las ventajas que nos proporcionan estos mecanismos están:

- Ø Ahorro en mano de obra.
- Ø Ciclos de moldeo óptimos.
- Ø Productividad mejorada y calidad en todas las piezas.
- Ø Ahorro de material.

Los robots presentan diferentes puntos que definen su capacidad, como son:

- Ø **Número de ejes de movimiento:** se trata del número de articulaciones móviles que indican la capacidad de movimiento que puede tener el robot para desempeñar una tarea determinada, mientras mayor sea el número de ejes, mayor será el costo del robot.
- Ø **Memoria:** es la cantidad de pasos o distintos movimientos que el robot puede realizar para una tarea determinada; los robots que solo se encargan de la extracción de piezas de los moldes no requieren de una gran capacidad de memoria, comparados con los que tienen que hacer piezas complejas o ensambles.
- Ø **Capacidad de carga:** esta característica se da principalmente en piezas de grandes dimensiones, ya que el robot a pesar de que tiene la capacidad de movimiento y la velocidad adecuada, es necesario que pueda cargar la pieza sin dañar su estructura o que suelte su carga. Con lo anterior existen robots que van desde 1 kilogramo hasta 70 kilogramos de carga.

- Ø **Tipo de programación:** se encuentran tres tipos de programación, los cuales son manuales, memoria electrónica y microprocesador. La primera es la menos costosa pero requiere mayor destreza del operador, en el caso de la programación electrónica se necesita realizar los movimientos deseados en conjunto con el robot, la programación por microprocesador se utiliza frecuentemente con programas de alto nivel y que son muy sencillos para el operador.
- Ø **Sujetadores de colada (sprue pickers):** estos dispositivos se utilizan para retirar piezas del molde, que posteriormente son depositadas en mesas o en bandas transportadoras.

10.7 SEPARADORES DE METAL

Estos dispositivos son esencialmente útiles para el caso de que se reutilice algún material para mezclarlo con material virgen, y de esa forma integrarlo al proceso, ya que el material reprocesado puede contener metales (cutters, varas de metal, etc.) que son excesivamente dañinos en el proceso. Cuando son de tamaño considerable se quedan atorados en las boquillas de las máquinas inyectoras, lo que ocasiona que se tenga que detener el proceso para extraer el metal de la boquilla.

Consiste en colocar imanes permanentes de alto poder magnético que detiene el paso de cualquier metal ferroso. Los más sencillos tienen la forma de perillas imantadas que se colocan dentro de la tolva y se pueden extraer para limpieza.

APENDICE (PROPIEDADES DE LOS POLIMEROS)

(A). ABSORCIÓN DE AGUA

Es la cantidad que tienden los plásticos a retener agua, reflejándose en un aumento de peso en la pieza después de estar en contacto con un ambiente húmedo.

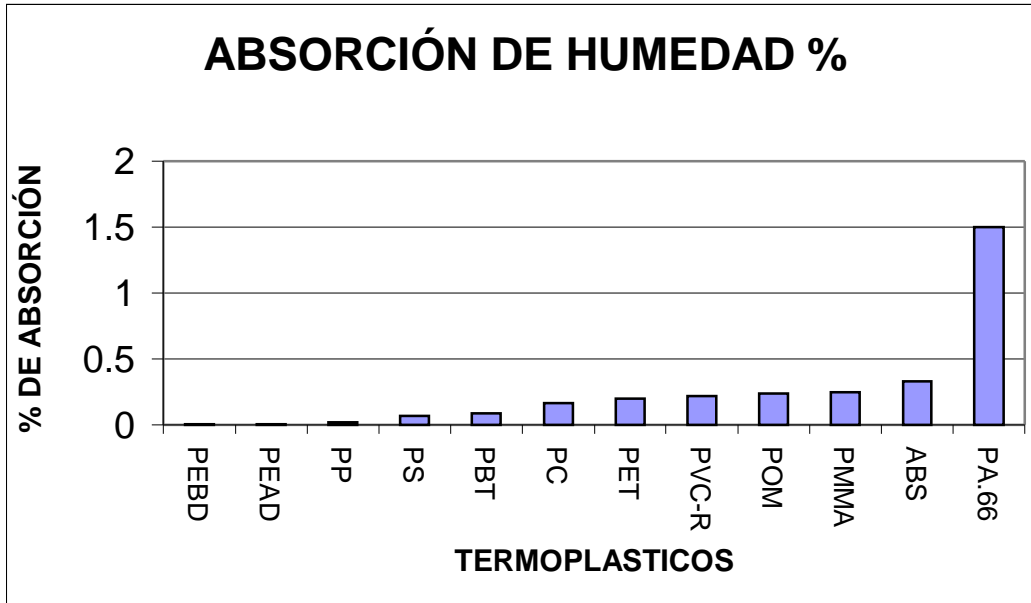


Figura A Absorción de humedad de algunos materiales termoplásticos¹⁰.

(B) RESISTENCIA A LA TENSIÓN

Es la capacidad que presentan los plásticos a oponerse al esfuerzo. Esta definida por la fuerza de tensión por unidad de área. Los valores altos de resistencia a la tensión indican gran resistencia de los plásticos a fracturarse.

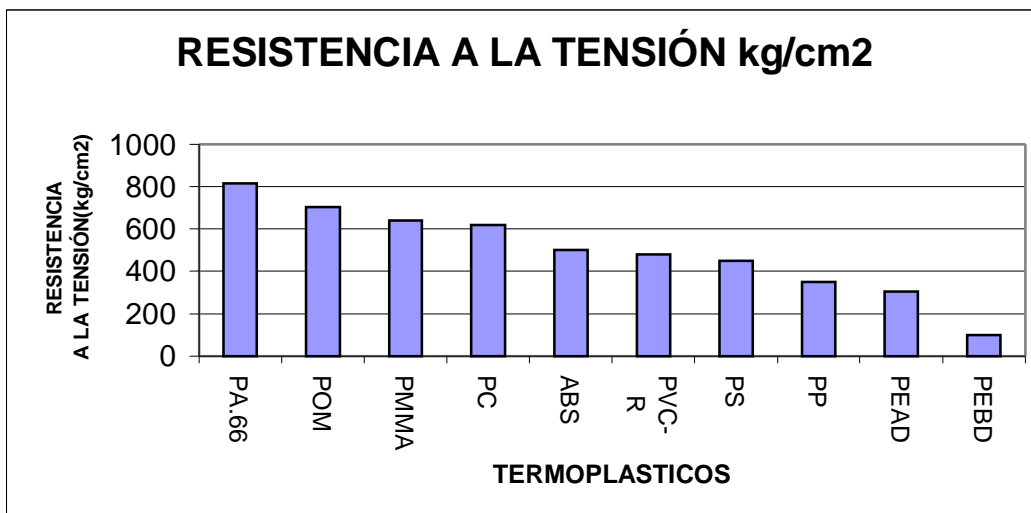


Figura B Resistencia a la tensión de algunos termoplásticos¹⁰.

(C) RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Es la resistencia que tienen los plásticos de soportar un esfuerzo sobre ellos antes de doblarse. El módulo de flexión se determina calculando la relación entre el esfuerzo aplicado y la flexión alcanzada antes de fracturarse la pieza.

Con altos valores de resistencia a la flexión se tienen plásticos que soportan grandes cargas y además son rígidos.

(D) RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD

Es la propiedad que presentan los plásticos a resistir un golpe o prolongar una fractura al estar sujeto un extremo de la muestra.

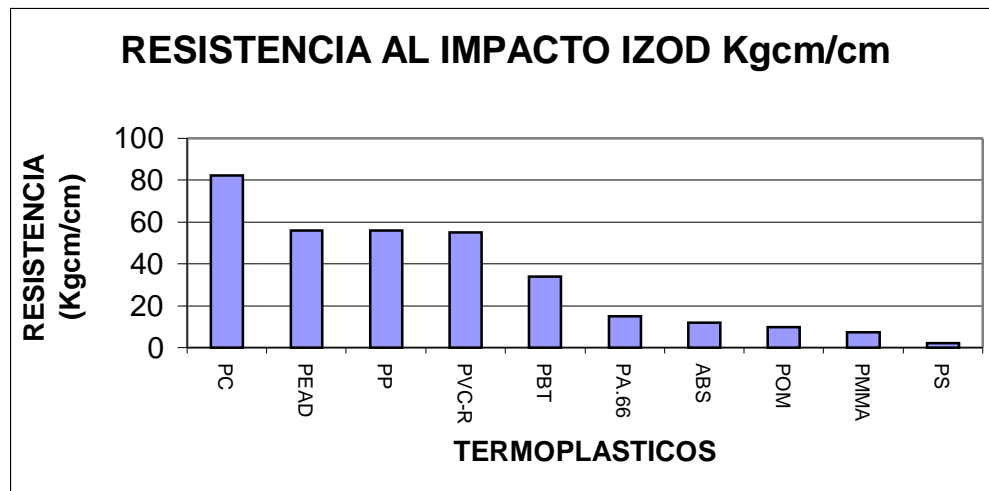


Figura C Resistencia la impacto izod de algunos termoplásticos¹⁰.

(E) DUREZA ROCKWELL

Es la resistencia que presentan los plásticos a ser rayados sobre su superficie.

(F) CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Cantidad de calor que transmiten los plásticos a través de ellos. Esta propiedad sirve para conocer los plásticos que tienen buen aislamiento térmico, siendo mejores los que presente valores bajos en conductividad térmica.

Polímero	Conductividad térmica(kcal/mh°C)
Acetato de celulosa	0.22
Acetobutirato de celulosa	0.18
Poliestireno	0.14
PMMA	0.16
Policarbonato	0.17
PVC	0.14
Poliamida	0.22
PEAD	0.33
PEBD	0.26

Tabla F Conductividad térmica de algunos termoplásticos.¹⁰

(G) INFLAMABILIDAD

Es la capacidad que presentan los plásticos para arder con menor o mayor capacidad cuando son expuestos a la flama de acuerdo a su estructura química y dependiendo de la rapidez con la que se consume. Indica la rapidez con la que se propaga el fuego.

(H) RESISTENCIA VOLUMÉTRICA

Es la oposición que presentan los plásticos al paso de la corriente eléctrica.

Valores bajo 10^8 ohm/cm aislante.

Entre 10^3 a 10^8 ohm/cm se le denomina semiconductores, es importante para la fabricación de conductores eléctricos.

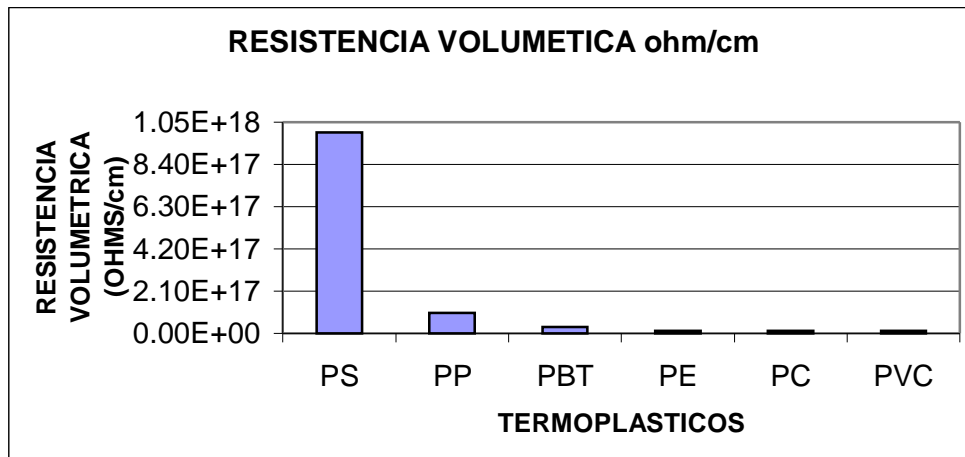


Figura D Resistencia volumétrica de algunos termoplásticos¹⁰.

13.1.10 RESISTENCIA AL ARCO

Es el tiempo que tardan los materiales plásticos en soportar la acción de un alto voltaje sobre una superficie, hasta el momento de la fractura.

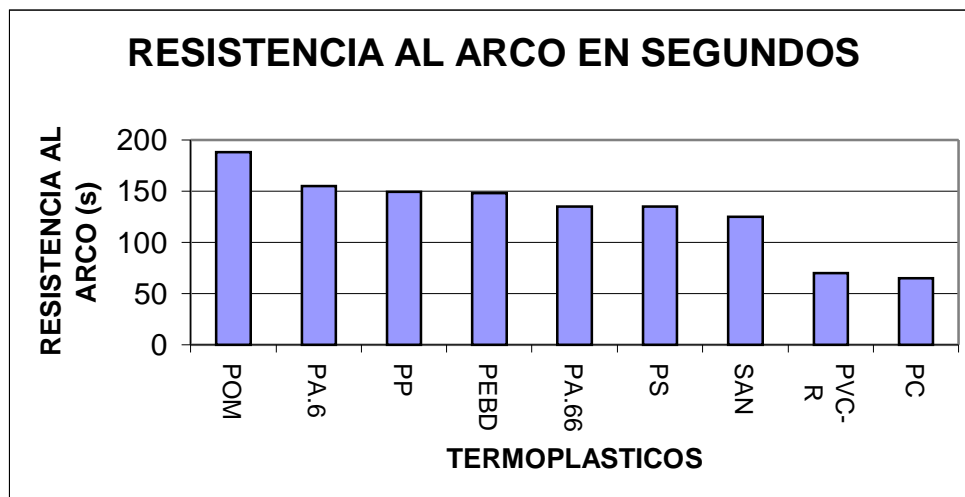


Figura E Resistencia al arco de algunos termoplásticos¹⁰.

14. BIBLIOGRAFIA

1. MARGARITA MARTINEZ "*FABRICACIÓN DE BOTELLAS DE PET*", MUNDO PLASTICO, MEXICO DF. 2004
2. GIANNI BODINI, FRANCO CACCHI PESSANI, "*MOLDES Y MAQUINAS DE INYECCIÓN PARA LA TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS*", MC GRAW HILL, MÉXICO DF.1987.
3. IRVIN RUBIN, "*MATERIALES PLÁSTICOS, PROPIEDADES Y APLICACIONES*" LIMUSA, MEXICO DF.1999,
4. SANDRETTO INDUSTRIE, "*MANUAL DE OPERACIÓN DE MAQUINAS SANDRETTO*", MÉXICO DF., 1998
5. ZAPATA ENVASES, "*GUÍA DEL USUARIO DE LAS MAQUINAS HUSKY*", MEXICO DF.1999
6. MARIA GUADALUPE GARCIA MARTINEZ, "*MOLDEO DE CALIDAD PARA UNA INDUSTRIA DE MOLDEO POR INYECCIÓN DE PLÁSTICOS*", 2001, MÉXICO DF.
7. SANTIAGO SANCHEZ LOPEZ,"*ADITIVOS PARA MATERIALES PLÁSTICOS*", LIMUSA. MEXICO DF.1992
8. CAMPCO DE MEXICO, "*FUNDAMENTOS DEL MOLDEO POR INYECCIÓN*" GRUPO IMECPLAST, MEXICO.DF. 1998
9. PRODUCTOS PLASTICOS SA DE CV, "*MOLDEO POR INYECCIÓN DE PLÁSTICOS*", EDIT. CORSO, MEXICO DF.1990
10. INFOPLAS, "*INYECCIÓN DE PLÁSTICOS*", MEXICO DF., 2000
11. "*POLIETILENO, TECNOLOGIA Y PROCESO, PROBLEMAS Y SOLUCIONES*", RUBEN BARRAGAN F. MEXICO DF., 1998
12. ABRAHAM ALFONSO FLORES SOTELO, "*INSTALACIÓN Y ARRANQUE DE UNA PLANTA DE SOPLADO DE PET*", , MEXICO DF.2002
13. ENVASES ZAPATA, "*CURSO DE PROCESO DE PREFORMAS*", HUSKY MEXICO DF., 1998
14. WALTER MINK, "*INYECCIÓN DE PLASTICOS*", 3^{RA} EDICIÓN, EDIT. G GILI, MEXICO DF.. 1981
15. SANCHEZ VALDEZ, YAÑEZ FLORES, RODRIGUEZ FERNANDEZ, "*MOLDEO POR INYECCIÓN DE TERMOPLÁSTICOS*", EDIT. LIMUSA, MEXICO DF., 2002
16. KOSA,"*EQUIPOS DE SECADO DE RESINA PET.*" EDIT. UNIVERSAL DINAMICS. MEXICO DF., JUNIO 2003

17. RICHARDSON LOKENSGARD, “*INDUSTRIA DEL PLASTICO, PLASTICO INDUSTRIAL*” EDIR. PARANINFO, MEXICO DF.,1999

18.GRUPO IMECPLAST.,”MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE MOLDES PARA INYECCIÓN DE PLÁSTICOS”, AVERY DENISON, MEXICO DF. 1988

19. www.psrc.usm.edu/spanich.com

20. www.anipac.com.mx/Baners

21. www.inegi.gob.mx