

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
*FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN*



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA**



---

---

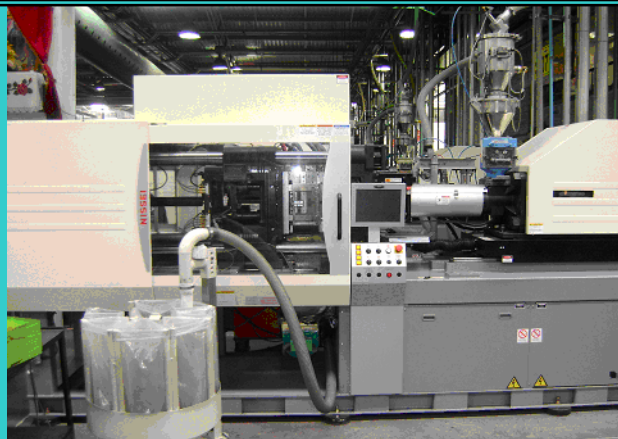
**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES**

*LECTURAS DE INGENIERÍA 21*

***CONFORMADO DE MATERIALES PLÁSTICOS***

---

---



---

**M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez.**

**CUAUTITLÁN IZCALLI 2012**

# ÍNDICE

Página

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

## CAPÍTULO 1 PLÁSTICOS

1.1 Estructura molecular.....	4
1.1.1. La polimerización .....	4
1.2. Cristalización y deformación.....	4
1.2.1 Efecto de la temperatura sobre los termoplásticos.....	5
1.2.2 Temperatura de degradación.....	6
1.3. Estado vítreo.....	6
1.4. Propiedades generales de los plásticos .....	8
1.5. Propiedades mecánicas.....	9
1.5.1. Tensión, compresión y flexión.....	10
1.6 Rellenos.....	11
1.7. Degradación de los polímeros.....	11
1.7.1 Degradación por efectos térmicos.....	12
1.7.2. Degradación por exposición a la intemperie.....	12
1.8. Propiedad térmica.....	12
1.9. Capacidad calorífica.....	13
1.10. Esfuerzos resultantes de gradientes de temperaturas.....	13
1.11. Plásticos biodegradables .....	14
1.11.1. Ácido poliláctico (PLA) .....	15
1.11.2. Polihidroxialcanoatos .....	15
1.12. Conformado de los plásticos .....	17

## CAPITULO 2 INYECCIÓN

2.1. Descripción de la máquina.....	20
2.2. Componentes principales de una maquina de inyección de plásticos.....	21
2.3 Características técnicas de las máquinas de inyección de plástico .....	23
2.4. El proceso de inyección .....	24

## CAPITULO 3 MOLDEO POR SOPLADO

3.1. Moldeo por inyección-soplo .....	28
3.2. Moldeo por extrusión-soplo .....	30
3.3. Moldeo por coextrusión-soplo ... ..	30

**CAPÍTULO 4  
MOLDEO POR COMPRESIÓN**

4.1 Definición del proceso .....	34
4.1.1. Características del proceso .....	34
4.1.2. Esquema del proceso .....	34
4.2. Prensa .....	35
4.3. Moldes .....	36
4.4. Materias primas .....	37
4.5. Piezas producidas por compresión .....	37
4.6. Principales aplicaciones .....	38
4.7. Ventajas y desventajas del moldeo por compresión .....	38

**CAPITULO 5  
MOLDEO POR TRANSFERENCIA**

5.1. Descripción del proceso .....	42
5.2. Características del proceso .....	43
5.3. Ventajas y desventajas del proceso respecto a la compresión y la inyección .....	44
5.4. Materiales procesados por moldeo por transferencia .....	45
5.5. Piezas obtenidas .....	45

**CAPÍTULO 6  
TERMOFORMADO .....**

46

**CAPITULO 7  
EXTRUSIÓN**

7.1. Tipos de extrusoras .....	52
7.2. El proceso de extrusión de PVC. ....	53
7.2.1 Geometría general del tornillo. ....	57
7.2.2 Calentamiento del PVC (gelación) .....	61
7.3. Identificando las partes que conforman la línea de producción. ....	64
7.3.1. La extrusora. ....	64
7.3.2. Cabezal .....	65
7.3.3 La tina de enfriamiento y de vacío .....	70
7.3.4. La oruga o jalador. ....	71
7.3.5. La sierra. ....	71
7.3.6. El acampanador y abocinador. ....	72
7.4. El campaneado de tubería de PVC. ....	72

**CAPITULO 8  
CALANDRADO. ....**

76

**BIBLIOGRAFÍA .....**

81

## INTRODUCCIÓN

*El desarrollo de la Ciencia y Tecnología actuales implican la generación y aplicación del conocimiento en muchas áreas y consecuentemente el estudiante de Ingeniería debe estar al tanto de los mismos, sin embargo, debido a la actualización no tan frecuente de los programas y planes de estudio y por las limitaciones propias de semestres de apenas cuatro meses de actividades académicas, es difícil la actualización del estudiante en dichos conocimientos, además, dejar trabajos de investigación no funciona ya de la manera deseada, ya que en muchas ocasiones se descargan de Internet y se imprimen sin leerlos siquiera, de ese modo, surge la idea de crear una serie de apuntes de temas básicos para el ingeniero actual como son: el endurecimiento superficial del acero, las fundiciones de hierro, la tribología y el desgaste, la superplasticidad, los avances en la industria siderúrgica, superaleaciones, nanomateriales, etc.*

*En esta lectura (ya la número 21) se describen los principales métodos utilizados actualmente en la industria para el conformado de piezas de materiales plásticos, como son: la inyección, el soplado, la extrusión, etc.; describiéndose también cuales son sus alcances y limitaciones.*

*Como siempre, agradeceré sus correcciones y comentarios.*

ATTE.

Mtro. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez

## CAPÍTULO 1

### PLÁSTICOS

Los plásticos son materiales polímeros orgánicos que pueden deformarse hasta conseguir una forma deseada por medio de extrusión, moldeo, hilado, etc. Los plásticos se caracterizan por una alta relación resistencia/densidad, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes.

Los productos finales son sólidos, aunque en alguna etapa de su procesamiento son fluidos bastante fáciles de formar por aplicación de calor y presión. En forma final, los plásticos consisten de largas cadenas de moléculas o polímeros, que se obtienen a partir de bloques de moléculas o monómeros; por medio de catalizadores, calor y presión.

El cruce de eslabones de dos o más polímeros, proceso análogo a la aleación de los metales, es conocido como copolimerización, aunque no todos los polímeros son plásticos. Los tres tipos básicos de plásticos son:

- Resinas termoplásticas que pueden reprocesarse algunas veces sin ocasionar un cambio en su composición química.
- Resinas termofijas las que no se pueden reprocesar debido a que se ocasionaría un cambio en su composición química.
- Elastómeros, pueden ser termoplásticos o termofijos, y tienen la capacidad de experimentar una gran cantidad de deformación elástica a temperatura ambiente.

En la tabla 1.1 se mencionan los principales tipos de plásticos

Tabla 1.1. Plásticos más utilizados

Nombre	Uso principal	Abreviatura (opcional)	No. de identificación
Tereftalato de Polietileno	Producción de botellas para bebidas. A través de su <b>reciclado</b> se obtiene principalmente fibras para relleno de bolsas de dormir, alfombras, cuerdas y almohadas.	PET o PETE	1
Polietileno de alta densidad	Se utiliza en envases de leche, detergente, aceite para motor, etc. El HDPE tras reciclarse se utiliza para macetas, contenedores de basura y botellas de detergente.	PEAD o HDPE	2
Policloruro de vinilo o Vinilo	Botellas de champú, envases de aceite de cocina, artículos de servicio para casas de comida rápida, etc. El PVC puede ser <b>reciclado</b> como tubos de drenaje e irrigación.	PVC o V	3
Polietileno de baja densidad	Bolsas de supermercado, de pan, <b>plástico</b> para envolver. El LDPE puede ser <b>reciclado</b> como bolsas de supermercado nuevamente.	PEBD o LDPE	4
Polipropileno	Se utiliza en la mayoría de recipientes para yogurt, sorbetes, tapas de botella, etc. El PP tras el <b>reciclado</b> se utiliza como viguetas de <b>plástico</b> , peldaños para registros de drenaje, cajas de baterías para autos .	PP	5
Poliestireno	Tazas desechables de bebidas calientes y bandejas de carne. El PS puede reciclarse en viguetas de <b>plástico</b> , cajas de cintas para casetes y macetas.	PS	6
Otros	Botellas de catsup para exprimir, platos para hornos de microondas, etc. Estos plásticos no se reciclan porque no se sabe con certeza qué tipo de <b>resinas</b> contienen.	Otros	7

(El código de Identificación es adoptado en México el 25 de Noviembre de 1999 en la NMX-E-232-SCFI-1999 basado en la identificación de Europa y países de América)

## **1.1 Estructura molecular.**

Las características físicas de un polímero no solo dependen del peso molecular y de la forma, sino que también dependen de las diferencias en la estructura de las cadenas moleculares. Las técnicas modernas de síntesis de polímeros permiten un gran control sobre varias posibilidades estructurales entre ellas las lineales, ramificadas, entrecruzadas y reticuladas, y también varias configuraciones isométricas.

Los **plásticos** son materiales compuestos principalmente de polímeros de origen natural y modificados o de polímeros hechos artificialmente que a veces contienen aditivos como fibras, cargas, pigmentos y otros similares que mejoran mas aún sus propiedades. Entre los plásticos encontramos los termoplásticos, los termoestables y los elastómeros.

### **1.1.1. La polimerización**

Es el proceso mediante en el cual pequeñas moléculas de una sola unidad (conocidas como **monómeros**) o de unas cuantas unidades (**oligómeros**) se unen químicamente para crear moléculas gigantes. Por lo común, la polimerización comienza con la producción de largas cadenas en los cuales los átomos están fuertemente unidos mediante un enlace covalente. Los plásticos se utilizan en una increíble cantidad de aplicaciones como: enseres domésticos, elementos estructurales, materiales biomédicos, solo por mencionar algunos.

Los plásticos también se usan para fabricar componentes electrónicos debido a su capacidad aislante y a su constante dieléctrica baja.

Están diseñados para dar una mejor resistencia o un mayor rendimiento a temperaturas elevadas teniendo como característica su elevado costo. Algunos de los polímeros de ingeniería pueden funcionar a temperaturas tan altas como 350 °C; otros, usualmente como fibras, tienen resistencias superiores a las del acero.

## **1.2. Cristalización y deformación.**

La cristalinidad, es importante en los polímeros, ya que afecta sus propiedades mecánicas y ópticas. La cristalinidad se presenta durante el procesamiento de los polímeros como resultados de cambios en la temperatura y de esfuerzos aplicados; alentar la cristalización del polímero

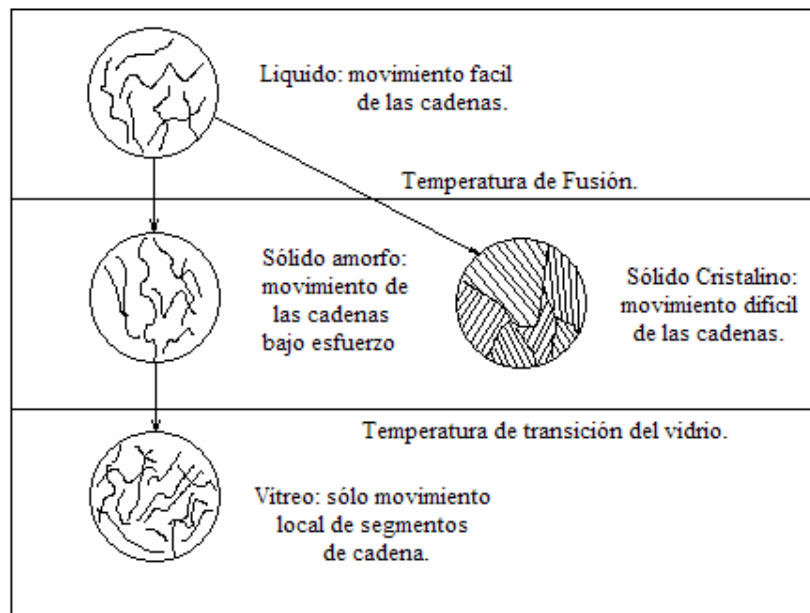
también ayuda a incrementar su densidad, resistencia al ataque químico y propiedades mecánicas, incluso a temperaturas mas elevadas, debido a la fuerte unión existente entre las cadenas. Además la deformación endereza y alinea las cadenas, produciendo una orientación preferente.

### 1.2.1 Efecto de la temperatura sobre los termoplásticos.

Las propiedades de los termoplásticos cambian en función de la temperatura. Es necesario saber la forma en que ocurren estos cambios, ya que pueden ayudarnos a:

- a) El diseño de mejores componentes.
- b) Guiar el tipo de técnicas de procesamiento que deban utilizarse.

Se pueden observar varias temperaturas y estructuras críticas, las cuales una vez que se hayan enfriado por debajo de la temperatura de fusión, los materiales termoplásticos pueden ser amorfos o cristalinos. Con mayor frecuencia **los termoplásticos de ingeniería** están formados por regiones amorfas y cristalinas. La cristalinidad de los materiales termoplásticos puede introducirse por temperatura (enfriamiento lento) o mediante aplicación de esfuerzos que desenreden cadenas. Ver figura 1.1



*Figura 1.1 Efecto de la temperatura en la estructura y en el comportamiento de los materiales termoplásticos.*



### **1.2.2 Temperatura de degradación.**

A temperaturas muy altas pueden destruirse los enlaces covalentes entre los átomos dentro de la cadena lineal y el polímero puede quemarse o carbonizarse. En los polímeros termoplásticos, la descomposición se presenta en estado líquido esta sería la temperatura de degradación.

Algunos materiales agregados a los termoplásticos como, por ejemplo, la piedra caliza, el talco, la alúmina, etc. Actúan como estabilizadores térmicos, es decir, estabilizadores de calor. Absorben el calor protegiendo la matriz polimérica.

La exposición a otras formas de productos químicos o energías por ejemplo, oxígeno, radiación ultravioleta y ataques por bacterias también hace que el polímero se degrade o se envejezca lentamente, incluso a bajas temperaturas.

### **1.3. Estado vítreo.**

Puesto que las propiedades mecánicas de los polímeros dependen de los cambios de temperatura. La temperatura de fusión y/o de Transición Vítrea de un polímero se determina como en el caso de los materiales cerámicos.

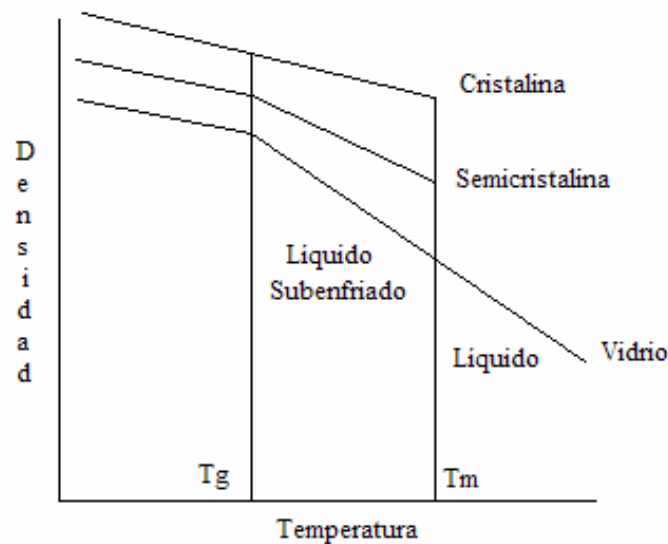
Algunos de los factores que influyen en la Temperatura de Transición Vítrea es cuando a bajas temperaturas las vibraciones de los átomos tienen pequeñas amplitudes y son relativamente independientes. Al aumentar la temperatura, las vibraciones incrementan su magnitud y se coordinan hasta el punto en que se producen movimientos de traslación de cadenas que, a elevada temperatura, implica a muchos átomos en cadena.

A temperatura de fusión el movimiento de las cadenas tiene tanta energía que es capaz de romper gran número de enlaces secundarios y generar una estructura molecular altamente desordenada. El valor de temperatura de fusión de un polímero cristalino o semi-cristalino dependen de los elementos estructurales que modifican la capacidad de las cadenas para formar enlaces de van der Waals y/o de hidrógeno.

La temperatura de transición vítrea también depende de la estructura de los componentes, la cual influye en la capacidad de las cadenas moleculares para vibrar y rotar a medida de que la temperatura aumenta. Probablemente la flexibilidad de las cadenas ejerce la mayor

influencia. Cuanto mas rígida sea una cadena, la probabilidad que experimente un movimiento de rotación cuando la temperatura aumenta es menor.

Por debajo de la Temperatura de Transición Vítrea  $T_g$  el polímero amorfo lineal se hace duro, frágil y como el vidrio. Nuevamente no se trata de una temperatura fija, sino de un rango de temperaturas. Cuando el polímero se enfría por debajo de la temperatura de transición vítrea, ciertas propiedades, como la densidad o el modulo de elasticidad, cambian a una velocidad diferente. Ver figura 1.2



**Figura 1.2. Relación entre densidad y temperatura del polímero mostrando temperaturas de Fusión ( $T_m$ ) y de transición vítrea ( $T_g$ ).**

A pesar de que los polímeros vítreos tienen una mala ductilidad y formabilidad, poseen buena tenacidad, rigidez y resistencia a la termo fluencia. Varios polímeros importantes, tienen temperaturas de transición vítrea por encima de la temperatura ambiente. La temperatura de transición vítrea comúnmente es de 0.5 a 0.75 veces la temperatura absoluta  $T_m$ . también hay muchos materiales termoplásticos que se vuelven rígidos a temperaturas mas bajas.

#### **1.4. Propiedades generales de los plásticos**

##### **Propiedades de los plásticos que pueden ser favorables.**

1. Peso ligero.
2. Alta resistencia química y a la humedad.
3. Lata resistencia al choque y a la vibración.
4. Transparentes o traslúcido.
5. Tienden a absorber la vibración y el sonido.
6. Alta resistencia a la abrasión y al uso.
7. Prelubricados.
8. Con frecuencia, fáciles de fabricar.
9. Pueden tener color uniforme.
10. Con frecuencia el costo es menor por parte terminada.

##### **Propiedades de los plásticos que pueden ser desfavorables.**

1. Baja resistencia.
2. Alta expansión térmica.
3. Más susceptibles a la rotura por fatiga, flujo a temperaturas bajas y deformación bajo carga.
4. Baja resistencia al calor, tanto a la degradación térmica como a la distorsión por calor.
5. Más propensos a volverse quebradizos a bajas temperaturas.
6. Suaves.
7. Menos dúctiles.
8. Cambios dimensionales debido a la absorción de humedad y solventes.
9. Flamables.
10. Algunas variedades son degradadas por la radiación ultravioleta.

##### **Propiedades que pueden ser favorables o desfavorables.**

1. Son flexibles. Aun las variedades rígidas, tienen mayor resiliencia (capacidad de sufrir una deformación y regresar a su forma original) que los metales.
2. No conducen la electricidad.

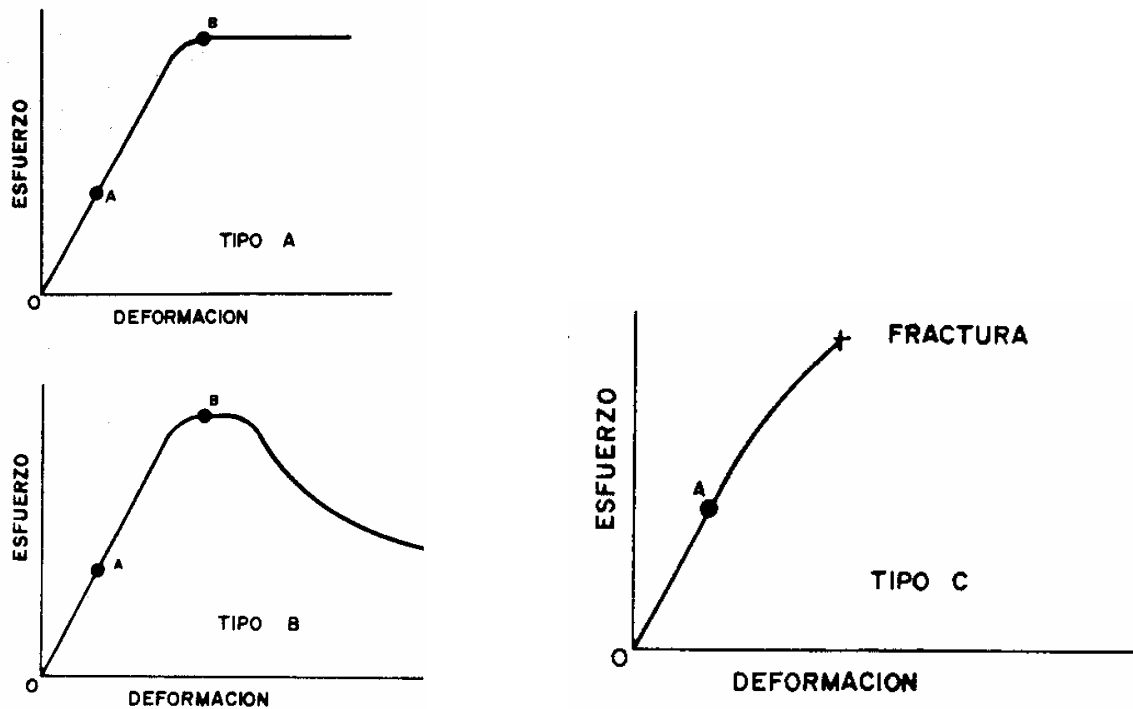
3. Son aislantes térmicos.
4. Son formados a través de la aplicación de calor y presión.

### **Excepciones.**

1. Algunos plásticos reforzados (epóxicos reforzados) con fibra de vidrio, poliésteres y fenólicos son cercanamente tan rígidos y fuertes (particularmente en relación al peso) como algunos aceros. Pueden tener más estabilidad dimensional.
2. Algunas láminas y perfiles orientados (poliésteres) pueden tener mayor resistencia en relación al peso que los aceros rolados en frío.
3. Algunos plásticos pueden ser más baratos que los metales con los que compiten (nylon vs latón, acetal vs zinc, poliéster reforzado vs acero inoxidable).
4. Algunos plásticos son más duros a bajas temperaturas que a normales (al acrílico no se le conoce la temperatura bajo cero a la que se volvería quebradizo).
5. Algunas combinaciones de plástico-metal, amplían el rango de aplicaciones de ambos materiales (láminas de vinilo-metal, cubiertas de vinilo-metal, poliésteres metalizados y fibras de cobre TFE).
6. Los componentes de plástico y metal pueden combinarse para producir un balance adecuado de propiedades (partes de plástico con insertos metálicos para cuerpos, engranes con dientes de nylon y cuerpos de fundición gris, transmisiones con engranes alternos de acero y resinas fenólicas, redondeamientos con flechas y carcazas de metal y cojinetes de nylon o TFE).
7. Rellenos metálicos en los plásticos, pueden hacerlos conductivos eléctrica o térmicamente, o magnéticos.

### **1.5. Propiedades mecánicas.**

Para los plásticos, hay tres tipos de curvas de esfuerzo-deformación. A temperatura ambiente el polietileno, polipropileno, policarbonato, ABS, acetal y nylon (con 2.5% de humedad) ceden en forma gradual, por ejemplo el nylon seco cede abruptamente; los acrílicos y estirenos, por lo común se fracturan antes del punto de cedencia.



*Figura 1.3. Curvas típicas de esfuerzo- deformación de plásticos que ceden: a) En forma gradual, b) Abruptamente y c) A baja deformación, antes del punto de cedencia*

Hay dos regiones de la curva esfuerzo-deformación importantes en el diseño. La región OA, donde se pueden aplicar los principios de diseño en la zona plástica. La región alrededor del punto b (punto de cedencia), es importante cuando sea una consideración primordial evitar la falla debido a deformaciones excesivas.

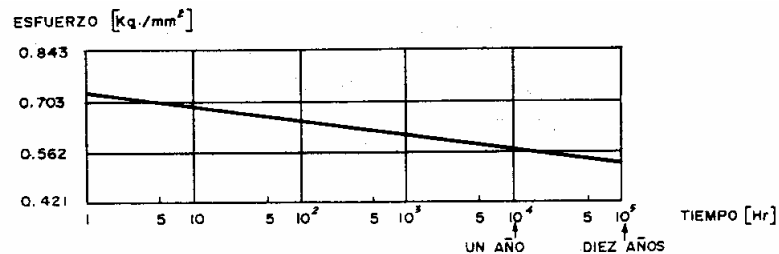
Debido a que la zona de límite de proporcionalidad, en el caso de los plásticos, no tiene estrictamente una zona lineal, implica que una parte en servicio puede tener una deflexión mayor a la esperada.

### 1.5.1. Tensión, compresión y flexión.

Respecto a estos parámetros, se puede comentar lo siguiente. Las curvas de esfuerzo-deformación para tensión y compresión, son idénticas para deformaciones pequeñas. El módulo de flexión, generalmente es igual al módulo para la tensión. Para deformaciones relativamente grandes, el esfuerzo a la compresión es mayor que a la tensión.

### Envejecimiento.

Las condiciones que causan el envejecimiento de los plásticos son las deformaciones bajo cargas cíclicas o continuas durante mucho tiempo; altas temperaturas y la exposición prolongada en ambientes oxidantes. Las consecuencias del envejecimiento se manifiestan de dos formas: experimentan una deformación gradual o paulatina bajo una carga constante; disminuye la fuerza requerida para producir una deformación constante. Estas consecuencias del envejecimiento se conoce como “deformación bajo carga” y “relajación”, respectivamente. Para propósitos de diseño, se puede asumir que los módulos de deformación y relajación son iguales, siendo estos definidos como el esfuerzo ( $F/A$ ), dividido entre la deformación en el tiempo  $t$  ( $L_t/L_0$ ). El tiempo  $t$ , es función del metal específico.



*Figura 1.4. Disminución de la resistencia a la tensión debido al envejecimiento*

### 1.6 Rellenos.

Los materiales de relleno se adicionan a los polímeros para incrementar las resistencias a la tracción, a la compresión y a la abrasión, la tenacidad, la estabilidad dimensional y térmica y otras propiedades. Como relleno se utiliza aserrín, sílice, arena, vidrio, arcilla, talco, caliza e incluso polímeros sintéticos, todos ellos totalmente pulverizados. Los tamaños de las partículas van de 10 nm a dimensiones macroscópicas. El coste del producto final disminuye porque estos materiales baratos substituyen una parte del volumen de los polímeros mas caros.

### 1.7. Degradación de los polímeros.

Los materiales poliméricos también experimentan deterioro mediante interacciones con el medio ambiente. Sin embargo, para referirse a estas interacciones no deseadas, se utiliza el término de degradación en vez de corrosión ya que los procesos son distintos. La degradación polimérica implica fenómenos físicos y químicos, mientras que las reacciones de la corrosión metálica

suelen ser electroquímicas. Además, en la degradación de los polímeros tiene lugar gran variedad de reacciones y consecuencias adversas. Los polímeros se deterioran por inchamiento y por disolución. La ruptura de enlaces covalentes, ya sea por energía térmica, por reacciones químicas, y también por radicación, generalmente va acompañada de una disminución de la integridad mecánica. Debido a la complejidad química de los polímeros, los mecanismos de su degradación no se conocen lo suficiente.

### **1.7.1 Degradación por efectos térmicos.**

La degradación térmica consiste en la escisión de cadenas moleculares a elevadas temperaturas. Una consecuencia de esto es que algunos polímeros experimentan reacciones químicas que producen especies gaseosas. Estas reacciones se evidencian por la pérdida del peso del material; la estabilidad térmica de los polímeros es una medida de su resistencia a esta descomposición. La estabilidad térmica se relaciona principalmente con la magnitud de las energías de enlace de los diferentes componentes de un polímero: las energías más elevadas corresponden a los materiales más estables térmicamente.

### **1.7.2. Degradación por exposición a la intemperie.**

La mayoría de los materiales poliméricos en servicio están expuestos al exterior. El deterioro resultante se denomina **degradación por exposición a la intemperie** que a menudo resulta una combinación de varios procesos distintos. En estas condiciones el deterioro es principalmente consecuencia de la oxidación iniciada por la radiación ultravioleta del sol. Algunos polímeros absorben agua y disminuyen su dureza y tenacidad. La resistencia a la degradación por exposición a la intemperie de los polímeros es dispar.

## **1.8. Propiedad térmica.**

Por propiedad térmica se entiende a la respuesta de un material al ser calentado. A medida que un sólido absorbe energía en forma de calor, su temperatura y sus dimensiones aumentan. La energía puede transportarse a las regiones más frías de la muestra si existe un gradiente de temperatura y, finalmente, la muestra puede fundirse. La capacidad calorífica, la dilatación

térmica y la conductividad térmica son propiedades muy importantes en la utilización práctica de los polímeros.

### 1.9. Capacidad calorífica.

Cuando se calienta un material sólido, este tiene un aumento de temperatura, indicando con ello que absorbe energía. La capacidad calorífica es una propiedad que indica la capacidad de un material de absorber calor de su entorno; representa la cantidad de energía necesaria para aumentar la temperatura en una unidad. En términos matemáticos la capacidad calorífica (C) puede expresarse como:

$$C = \frac{dQ}{dT} \dots\dots (1.1)$$

Donde dQ es la energía necesaria para producir un cambio dT en la temperatura. Normalmente, la capacidad calorífica se expresa por mol de material (J / mol-K, cal / mol-K) a veces se utiliza el calor específico; este representa la capacidad calorífica por unidad de masa y sus unidades son (J / Kg.-K, cal / g-K). Existen dos métodos para medir esta propiedad, según cuales sean las condiciones del medio en que se realiza la transferencia de calor. Uno es medir la capacidad calorífica mientras se mantiene la muestra a volumen constante, (Cv); el otro es bajo presión constante (Cp) y siempre es mayor que Cv; sin embargo, esta diferencia es muy pequeña para la mayoría de los materiales sólidos a temperatura ambiente e inferiores.

En estos materiales la transferencia de calor se realiza por vibración, traslación y rotación de moléculas. La magnitud de las conductividades térmicas depende del grado de cristalinidad; un polímero con un alto grado de cristalinidad y una estructura ordenada tendrá una conductividad mayor que el material amorfo equivalente.

### 1.10. Esfuerzos resultantes de gradientes de temperaturas.

Cuando un cuerpo es calentado o enfriado, la distribución de temperatura dependerá de su tamaño y forma, de la conductividad térmica del material y de la velocidad del cambio de temperatura. Como el resultado de los gradientes de temperatura en el interior del cuerpo,



debidos frecuentemente a calentamientos o enfriamientos en los que la temperatura externa cambia más rápida que la interna, se producen tensiones térmicas; los cambios dimensionales diferenciales restringen la dilatación o contracción libres de elementos de volumen adyacentes dentro de la pieza.

### **1.11. Plásticos biodegradables**

A fines del siglo XX el precio del petróleo disminuyó, y de la misma manera decayó el interés por los plásticos biodegradables. En los últimos años esta tendencia se ha revertido, además de producirse un aumento en el precio del petróleo, se ha tomado mayor conciencia de que las reservas petroleras se están agotando de manera alarmante. Dentro de este contexto, se observa un marcado incremento en el interés científico e industrial en la investigación para la producción de plásticos biodegradables o EDPs (*environmentally degradable polymers and plastics*). La fabricación de plásticos biodegradables a partir de materiales naturales, es uno de los grandes retos en diferentes sectores; industriales, agrícolas, y de materiales para varios servicios. Ante esta perspectiva, las investigaciones que involucran a los plásticos obtenidos de otras fuentes han tomado un nuevo impulso y los polihidroxialcanoatos aparecen como una alternativa altamente prometedora.

La sustitución de los plásticos actuales por plásticos biodegradables es una vía por la cual el efecto contaminante de aquellos, se vería disminuido en el medio ambiente. Los desechos de plásticos biodegradables pueden ser tratados como desechos orgánicos y eliminarlos en los depósitos sanitarios, donde su degradación se realice en exiguos períodos de tiempo.

Los polímeros biodegradables se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Polímeros extraídos o removidos directamente de la biomasa: polisacáridos como almidón y celulosa. Proteínas como caseína, queratina, y colágeno.
- Polímeros producidos por síntesis química clásica utilizando monómeros biológicos de fuentes renovables.
- Polímeros producidos por microorganismos, bacterias productoras nativas o modificadas genéticamente.

Dentro de la última categoría se hallan los plásticos biodegradables producidos por bacterias, en este grupo encontramos a los PHAs y al ácido poliláctico (PLA). Los PHAs debido a su origen de fuentes renovables y por el hecho de ser biodegradables, se denominan “polímeros doblemente verdes”. El PLA, monómero natural producido por vías fermentativas a partir de elementos ricos en azúcares, celulosa y almidón, es polimerizado por el hombre. Los bioplásticos presentan propiedades fisicoquímicas y termoplásticas iguales a las de los polímeros fabricados a partir del petróleo, pero una vez depositados en condiciones favorables, se biodegradan.

### **1.11.1. Ácido poliláctico (PLA)**

El almidón es un polímero natural, un gran hidrato de carbono que las plantas sintetizan durante la fotosíntesis que sirve como reserva de energía. Los cereales como el maíz y trigo contienen gran cantidad de almidón y son la fuente principal para la producción de PLA. Los bioplásticos producidos a partir de este polímero tienen la característica de una resina que puede inyectarse, extruirse y termoformarse.

La producción de este biopolímero empieza con el almidón que se extrae del maíz, luego los microorganismos lo transforman en una molécula más pequeña de ácido láctico o 2 hidroxipropiónico (monómero), la cual es la materia prima que se polimeriza formando cadenas, con una estructura molecular similar a los productos de origen petroquímico, que se unen entre sí para formar el plástico llamado PLA.

El PLA es uno de los plásticos biodegradables actualmente más estudiados, se encuentra disponible en el mercado desde 1990. Es utilizado en la fabricación de botellas transparentes para bebidas frías, bandejas de envasado para alimentos, y otras numerosas aplicaciones.

### **1.11.2. Polihidroxialcanoatos**

#### **Historia**

Los PHAs son producidos generalmente por bacterias Gram negativas, aunque existen bacterias Gram positivas también productoras en menor escala. El primer PHA descubierto fue el PHB, que fue descrito en el instituto Pasteur en 1925 por el microbiólogo Lemoigne quien observó la producción de PHB por *Bacillus megaterium*. Posteriormente, en 1958 Macrae e Wildinson

observaron que *Bacillus megaterium* acumulaba el polímero cuando la relación glucosa/nitrógeno en el medio de cultivo no se encontraba en equilibrio y observaron su degradación cuando existía falta o deficiencia de fuentes de carbono o energía. A partir de este hecho, se encontraron inclusiones de PHA en una extensa variedad de especies bacterianas. En la actualidad se conocen aproximadamente 150 diferentes polihidroxicanoatos.

La primera patente de PHB fue pedida en los Estados Unidos por J. N. Baptist en 1962. En 1983 ocurrieron dos acontecimientos importantes, primero fue el descubrimiento por De Smet, de una cepa de *Pseudomonas oleovorans* (ATCC 29347) productora de PHB, y consecutivamente se dio la primera producción del primer biopolímero de uso comercial. Un copolímero formado por monómeros de cuatro y cinco carbonos, denominados PHB y PHV, respectivamente, este producto se denominó comercialmente “Biopol” y se produce utilizando *Ralstonia eutropha*, a partir de glucosa y ácido propiónico. Este bioplástico en la actualidad ya es sintetizado a partir de una sola fuente de carbono en bacterias recombinantes; y exhibe un alto potencial de biodegradabilidad y propiedades termomecánicas mejores que el PHB puro.

En general los PHAs son insolubles en agua, biodegradables, no tóxicos, por lo cual uno de los principales beneficios que se obtienen de la aplicación de PHAs, es el ambiental. La utilización de estos productos, reduce la dependencia del petróleo por parte de la industria plástica, provoca una disminución de los residuos sólidos y se observaría una reducción de la emisión de gases que provocan el efecto invernadero.

Los puntos de interés en cuanto a aplicaciones de bioplásticos, de acuerdo con la IBAW (Asociación Internacional y Grupo de Trabajo de Polímeros Biodegradables) se centran en los sectores de empaque, medicina, agricultura y productos desechables. Sin embargo, con el avance de esta industria se ha ampliado la utilización de biomateriales aplicándose en: teléfonos celulares, computadores, dispositivos de audio y video. De acuerdo a esta información se ha establecido que el 10% de los plásticos que actualmente se emplean en la industria electrónica pueden ser reemplazados por biopolímeros.

## **1. 12. Conformado de los plásticos**

El plástico se procesa de formas distintas, según sea termoplástico o termoestable. Los termoplásticos, formados por polímeros lineales o ramificados, pueden fundirse. Se ablandan cuando se calientan y se endurecen al enfriarse. Lo mismo ocurre con los plásticos termoestables que están poco entrecruzados. No obstante, la mayoría de los termoestables ganan en dureza cuando se calientan; el entrecruzado final que los vuelve rígidos se produce cuando se ha dado forma al plástico.

Las técnicas empleadas para conseguir la forma final y el acabado de los plásticos dependen de tres factores: tiempo, temperatura y deformación. La naturaleza de muchos de estos procesos es cíclica, si bien algunos pueden clasificarse como continuos o semicontinuos.

Una de las operaciones más comunes es la extrusión. Una máquina de extrusión consiste en un aparato que bombea el plástico a través de un molde con la forma deseada. Los productos extrusionados, como por ejemplo los tubos, tienen una sección con forma regular. La máquina de extrusión también realiza otras operaciones, como moldeo por soplado o moldeo por inyección.

Otros procesos utilizados son el moldeo por compresión, en el que la presión fuerza al plástico a adoptar una forma concreta, y el moldeo por transferencia, en el que un pistón introduce el plástico fundido a presión en un molde. El calandrado es otra técnica mediante la que se forman láminas de plástico.

Algunos plásticos, y en particular los que tienen una elevada resistencia a la temperatura, requieren procesos de fabricación especiales. Por ejemplo, el politetrafluoretileno tiene una viscosidad de fundición tan alta que debe ser prensado para conseguir la forma deseada, y sinterizado, es decir, expuesto a temperaturas extremadamente altas que convierten el plástico en una masa cohesionada sin necesidad de fundirlo.

Tabla 1.2. Métodos de conformado para materiales plásticos

MÉTODO DE CONFORMADO	PRODUCTOS
<i>Extrusión</i>	Semiacabados, productos intermedios para calandrado, soplado o hilado.
<i>Calandrado</i>	Hojas de materiales, tiras revestidas.
<i>Inflado</i>	Hojas y cuerpos huecos.
<i>Colada por inyección</i>	Piezas a partir de masas de colada por inyección.
<i>Conformado en caliente</i>	Piezas moldeadas a partir de semiacabados.
<i>Prensado inyección-prensado.</i>	Piezas de resinas sintéticas y masas prensables.
<i>Prensado en capas (estratificación)</i>	Productos estratificados a partir de rollos impregnados con resinas sintéticas.
<i>Lienzo de caucho con presión o vacío</i>	Productos estratificados a partir de rollos soporte impregnados con resinas baja presión.
<i>Colada</i>	Modelos, inclusiones, piezas moldeadas.
<i>Centrifugado</i>	Cuerpos huecos con simetría axial o huecos cerrados
<i>Inmersión</i>	Cuerpos huecos o revestimientos
<i>Recubrimiento</i>	Plastificados sobre rollo de papel o tejido
<i>Arranque de viruta</i>	Transformación de semiacabados, acabados y limpieza de piezas moldeadas.
<i>Inyección por llama</i>	Revestimientos sobre base fija.
<i>Soldadura y encolado</i>	Unión de semiacabados y piezas a partir de los mismos mediante conformado en caliente o arranque de viruta.

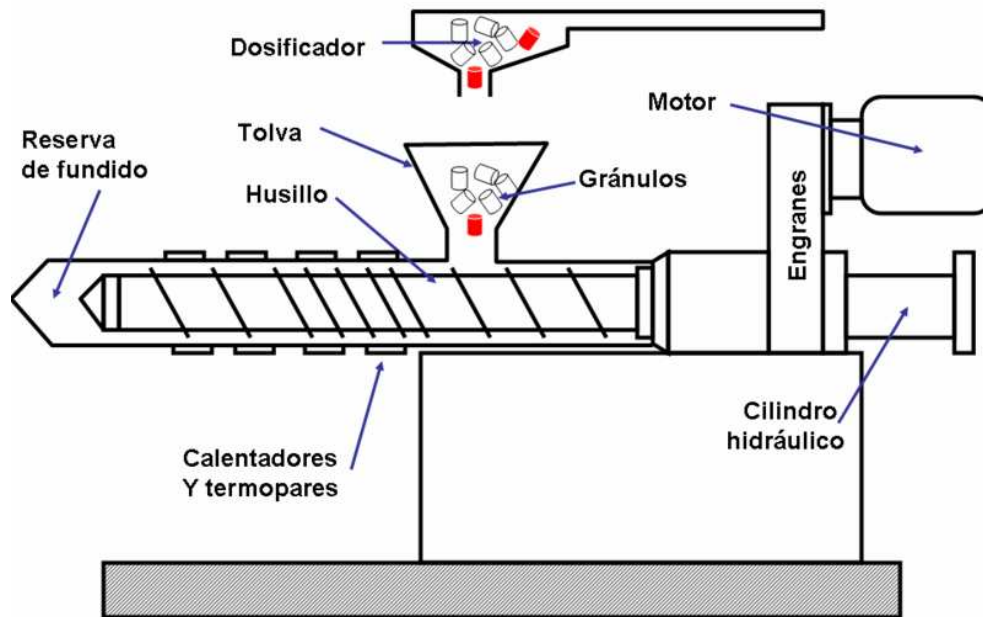
## **CAPITULO 2**

### **INYECCIÓN**

El moldeo por inyección es una técnica muy popular para la fabricación de artículos muy diferentes.

La popularidad de este método se explica con la versatilidad de piezas que pueden fabricarse, la rapidez de fabricación, el diseño escalable desde procesos de prototipos rápidos, altos niveles de producción y bajos costos, alta o baja automatización según el costo de la pieza, geometrías muy complicadas que serían imposibles por otras técnicas, las piezas moldeadas requieren muy poco o nulo acabado pues son terminadas con la rugosidad de superficie deseada, color y transparencia u opacidad, buena tolerancia dimensional de piezas moldeadas con o sin insertos y con diferentes colores.

En el proceso de inyección de plástico el material entra a través de una tolva, después, pasa por un cilindro de calentamiento o plastificación donde es derretido para ser inyectado en la cavidad del molde por medio de un pistón accionado hidráulicamente, o de un tornillo sin fin; la acción del tornillo no sólo es giratoria sino que también se mueve longitudinalmente como el pistón de inyección, lo que permite incrementar la capacidad de inyección de la máquina, figura 2.1.



*Figura 2.1. Diseño genérico de la unidad de inyección.*

Las máquinas de inyección tienen sistemas hidráulicos que controlan el movimiento de los sistemas de inyección y cierre; y sistemas eléctricos, que controlan las temperaturas, flujo de agua, aceite, etc.

### **2.1. Descripción de la máquina**

Una máquina para inyección de plásticos (inyectora) consta de tres partes principales; la unidad de inyección, unidad de cierre, y la unidad de control (Gabinete de control eléctrico y la interfase Humano-Máquina), figura 2.2 En muchas ocasiones, para la extracción de la pieza (preforma) se utiliza un robot.

- Unidad de inyección: La función principal de la unidad de inyección es la de fundir, mezclar e inyectar el polímero.
- Unidad de cierre: Una prensa hidráulica o mecánica, con una fuerza de cierre lo suficientemente grande para contrarrestar la fuerza ejercida por el polímero fundido al ser inyectado en el molde. Si la fuerza de cierre es insuficiente, el material escapará por la unión del molde.

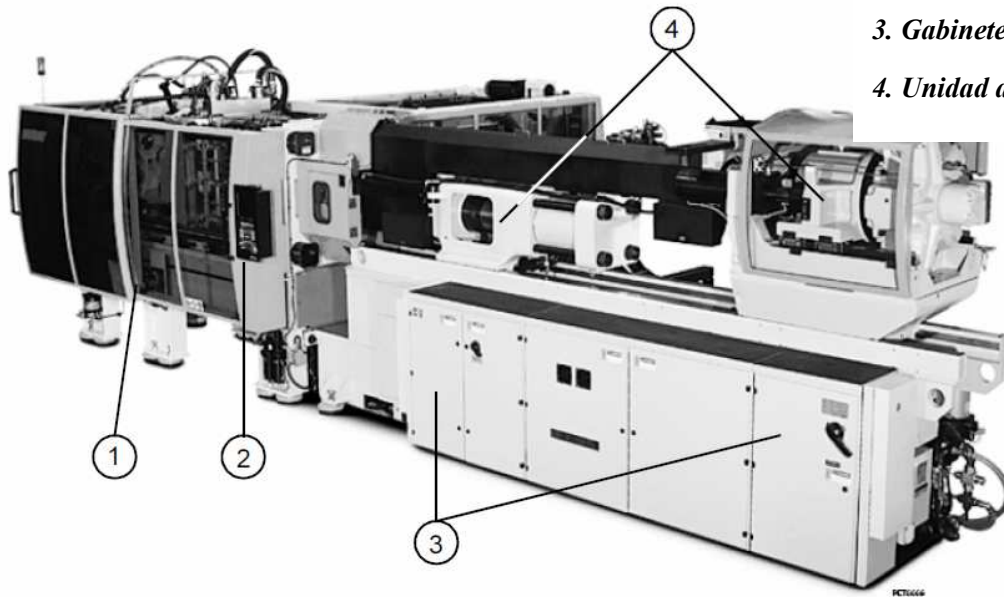
- La Unidad de Control se compone del gabinete eléctrico y de la Interfase Humano-Máquina (IHM). El gabinete eléctrico contiene el controlador lógico programable, los interruptores de circuito y la lógica. La Interfase Humano-Máquina (IHM) regula el funcionamiento de la máquina y las funciones de operación

*1. Unidad de Cierre*

*2. Interfase Humano-Maquina*

*3. Gabinete de Control eléctrico*

*4. Unidad de inyección*



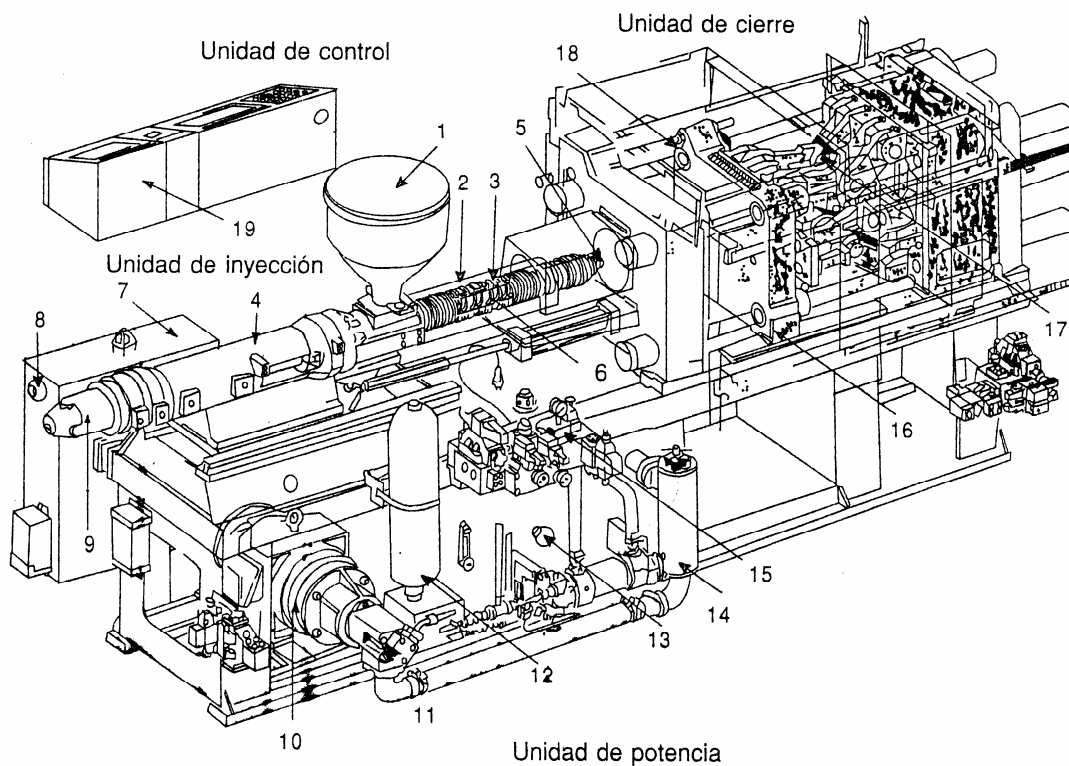
*Figura 2.2. Máquina de inyección Husky*

## ***2.2. Componentes principales de una máquina de inyección de plásticos.***

En la figura 2.3 se muestra una máquina inyectora de plásticos, identificándose sus principales componentes.



1.-Tolva alimentadora	11.- Bomba hidráulica
2.- Cubierta de barril	12.- Acumulador
3.- Barril con bandas calefactores	13.- Sensor de temperatura de aceite
4.- Cilindro de inyección	14.- Filtro
5.- Boquilla	15.-Válvula hidráulica de control
6.- Tornillo	16.-Platinas porta molde
7.- Controlador de temperatura de aceite	17.-Sistema d cierre con palancas acodadas
8.- Alarma de temperatura de aceite	18.- Columnas guía
9.- Motor hidráulico	19.- Microprocesador para control del proceso
10.- Motor eléctrico	



**Figura 2.3. Componentes de una máquina inyectora**

### 2.3 Características técnicas de las máquinas de inyección de plástico

Dependiendo del material que se inyecte, se debe tomar en cuenta ciertas características técnicas de las máquinas en la inyección de plástico, dentro de las que se encuentra las siguientes:

#### Sistema de inyección

- Diámetro del husillo (mm): Diámetro externo del husillo que plastifica e inyecta el plástico.
- Relación L/D del husillo: Es la relación entre la longitud del husillo (L) y el diámetro del mismo (D).
- Máxima presión de inyección ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ): Presión que se aplica sobre el material al ser inyectado.
- Volumen teórico de inyección ( $\text{cm}^3$ ): Volumen generado por el husillo que se inyecta.
- Velocidad de inyección ( $\text{cm}^3/\text{s}$ ): Velocidad con el que se inyecta el material al molde.
- Velocidad de rotación del husillo (rpm): Velocidad de rotación que alcanza el husillo en la etapa de plastificación.
- Potencia del motor hidráulico (hp): Es la potencia disponible para hacer girar el husillo.

#### Sistema de cierre

- Fuerza de cierre (Ton.): Fuerza máxima con la que puede cerrarse el molde.
- Distancia entre columnas (mm): Máxima distancia entre las columnas de deslizamiento de la platina móvil.
- Carrera de la platina móvil (mm): Carrera máxima de la apertura del molde.

#### Especificaciones generales

- Potencia máxima instalada (hp): Potencia del motor eléctrico que activa el sistema hidráulico.
- Ciclos en vacío (ciclos/min): Número de ciclos que la máquina realiza en un minuto, sin realizar fase de inyección y plastificación.

## 2.4. El proceso de inyección

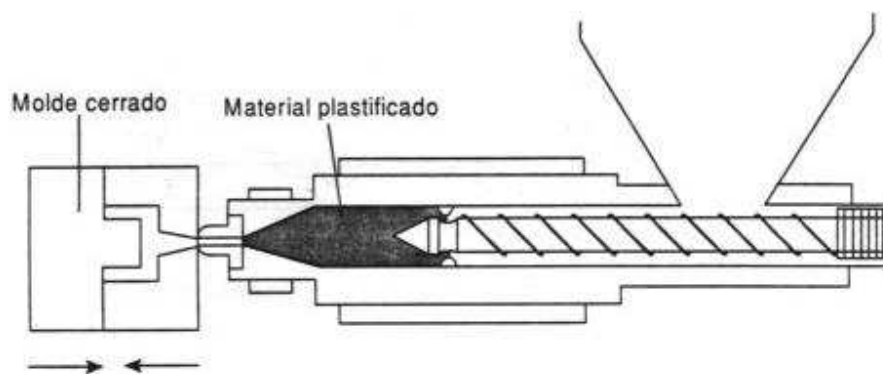
El proceso de inyección es discontinuo, y es llevado totalmente por una sola máquina llamada inyectora con su correspondiente equipo auxiliar o periférico.

El proceso de inyección consiste básicamente en:

- a) Plastificar y homogenizar con ayuda de calor el material plástico que ha sido alimentado en la tolva y el cual entrara por la garganta del cilindro.
- b) Inyectar el material fundido por medio d presión en las cavidades del molde, del cual tomará la forma o figura que tenga dicho molde.
- c) En el tiempo en el que el plástico se enfría dentro del molde se está llevando a cabo el paso "a", posteriormente se abre el molde y expulsa la pieza moldeada.

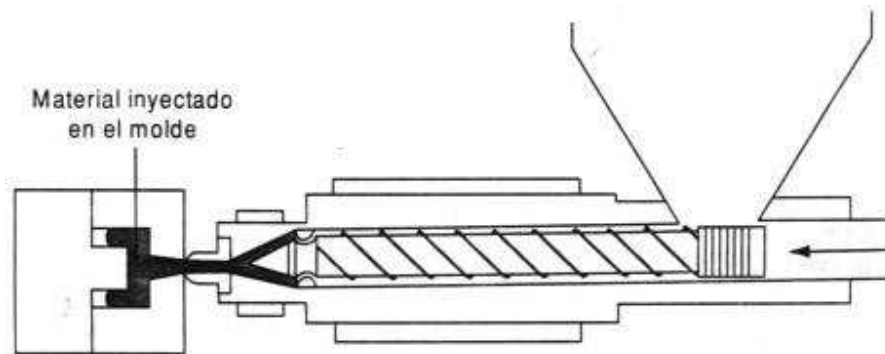
A continuación se describe en una forma más detallada lo que ocurre en los pasos del proceso de moldeo por inyección.

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



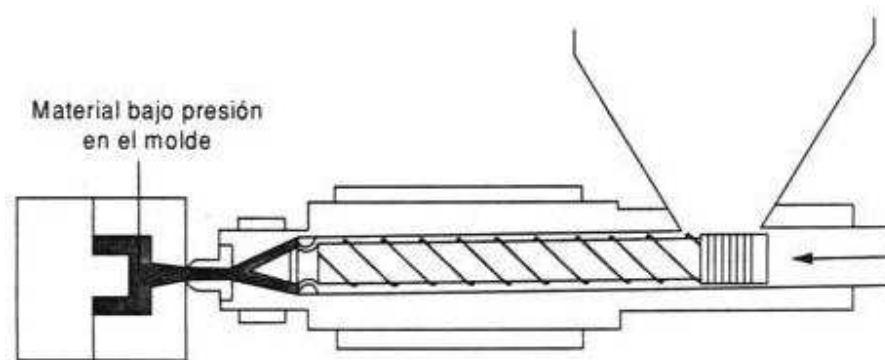
*Figura 2.4. Cierre del molde e inicio de la inyección*

2. El tornillo inyecta el material, actuando como pistón, sin girar, forzando el material a pasar a través de la boquilla hacia las cavidades del molde con una determinada presión de inyección.



*Figura 2.5. Inyección del material*

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



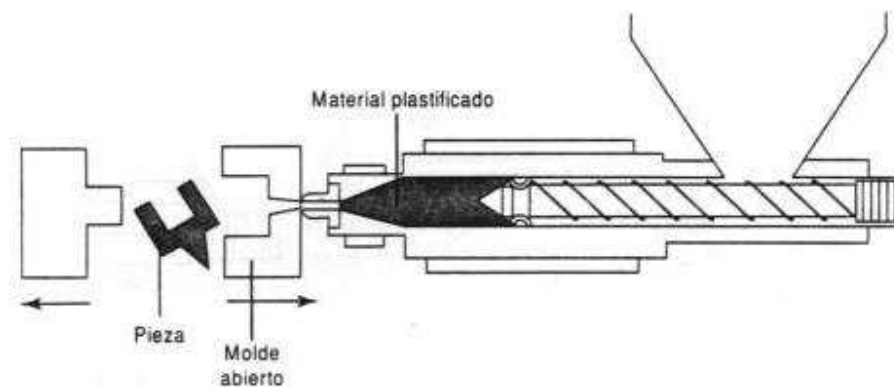
*Figura 2.6. Aplicación de la presión de sostenimiento*

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



*Figura 2.7. Plastificación del material*

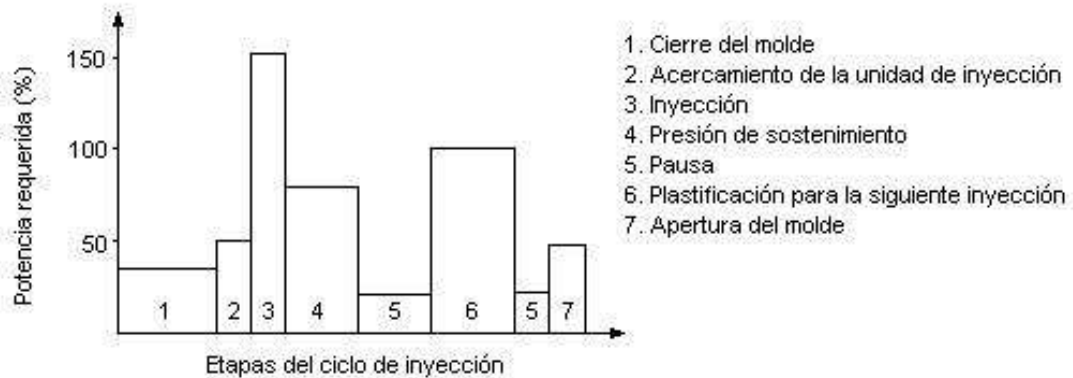
5. El material dentro del molde se continúa enfriando en donde el calor es disipado por el fluido refrigerante. Una vez terminado el tiempo de enfriamiento, la parte móvil del molde se abre y la pieza es extraída.



*Figura 2.8. Enfriamiento y extracción de la pieza*

6. El molde cierra y se reinicia el ciclo.

En cuanto al consumo de potencia en cada una de las etapas del ciclo, se observa que en el cierre del molde apenas se requiere la potencia necesaria para vencer la fricción generada al desplazar la placa móvil. La etapa de inyección necesita la potencia máxima durante un período muy corto. El desplazamiento de la unidad de inyección y la apertura del molde requieren muy poca potencia. En la figura 2.8 se esquematiza el consumo de potencia durante el ciclo de inyección.

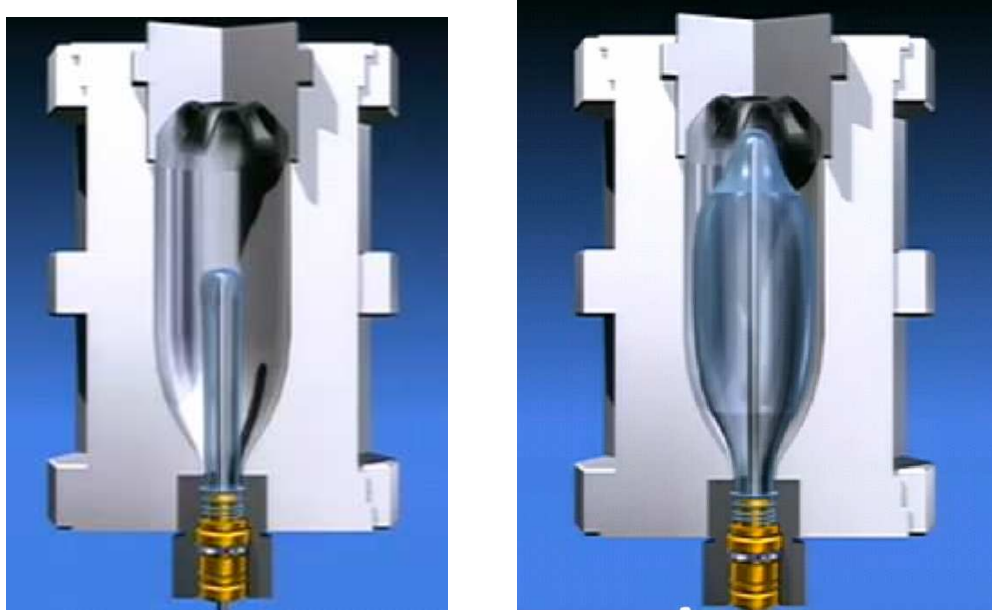


*Figura 2.8. Esquematización del consumo de potencia durante el ciclo de inyección.*

## CAPITULO 3

### MOLDEO POR SOPLADO

El **moldeo por soplado** es un proceso utilizado para fabricar piezas de plástico huecas gracias a la expansión del material. Esto se consigue por medio de la presión que ejerce el aire en las paredes de la preforma, si se trata de inyección-soplado, o del párison, si se habla de extrusión-soplado.



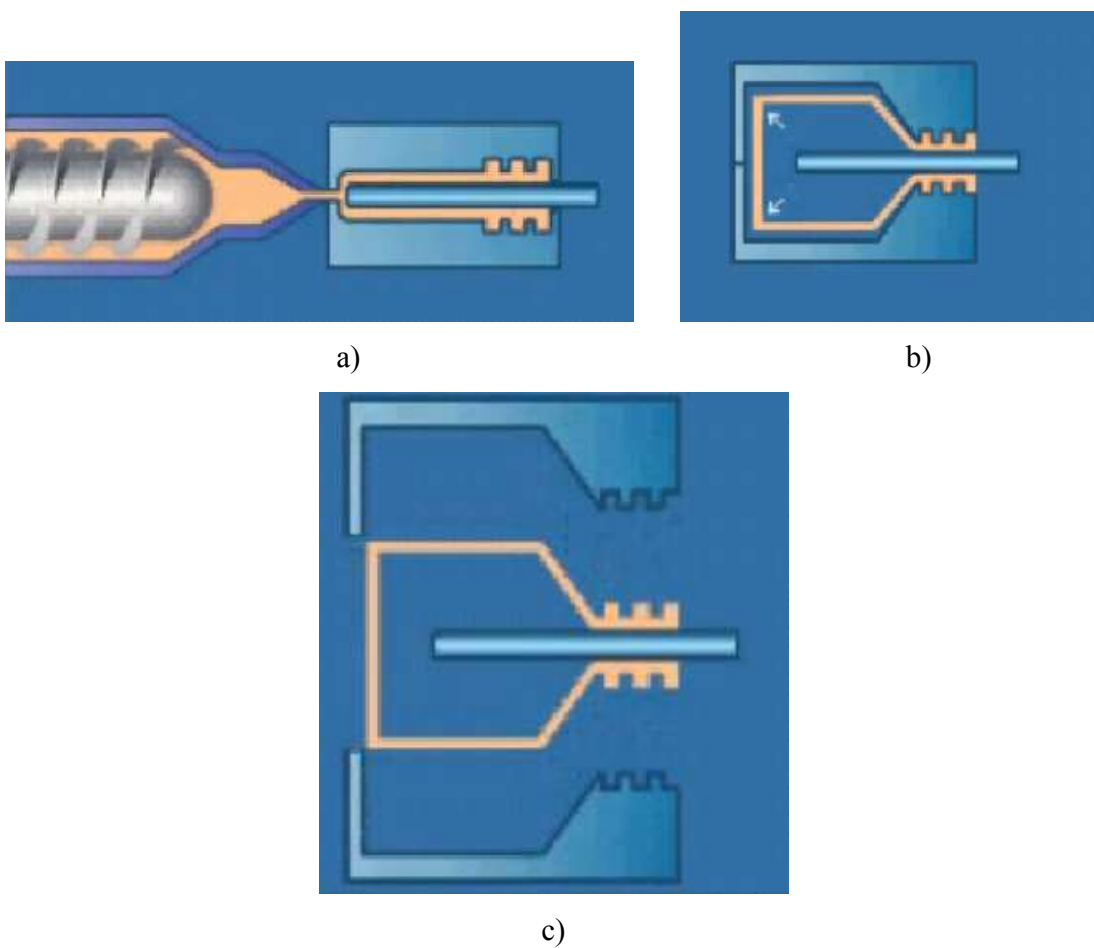
*Figura 3.1. Proceso de soplado de una preforma obtenida mediante inyección.*

Este proceso se compone de varias fases, la primera es la obtención del material a soplar, después viene la fase de soplado que se realiza en el molde que tiene la geometría final, puede haber una fase intermedia entre las dos anteriores para calentar el material si fuera necesario, seguidamente se enfría la pieza y por último se expulsa. Para facilitar el enfriamiento de la pieza los moldes están provistos de un sistema de refrigeración así se incrementa el nivel productivo.

#### **3.1. Moldeo por inyección-soplo**

El moldeo por inyección-soplado consiste en la obtención de una preforma del polímero a procesar, similar a un tubo de ensayo, figura 3.2a), la cual posteriormente se calienta y se introduce en el molde que alberga la geometría deseada, en ocasiones se hace un

estiramiento de la preforma inyectada, después se inyecta aire, con lo que se consigue la expansión del material y la forma final de la pieza, figura 3.2b) y por último se procede a su extracción, 3.2c). En muchas ocasiones es necesario modificar el espesor de la preforma, ya sea para conseguir una pieza con diferentes espesores o para lograr un espesor uniforme en toda la pieza, pues en la fase de soplado no se deforman por igual todas las zonas del material. La ventaja de usar preformas consiste en que estas se pueden inyectar y almacenar, producir diferentes colores y tamaños, los cuales pueden hacerse en lugares distintos a donde se realizará el soplado. Las preformas son estables y pueden ser sopladas a velocidad alta según la demanda requerida.

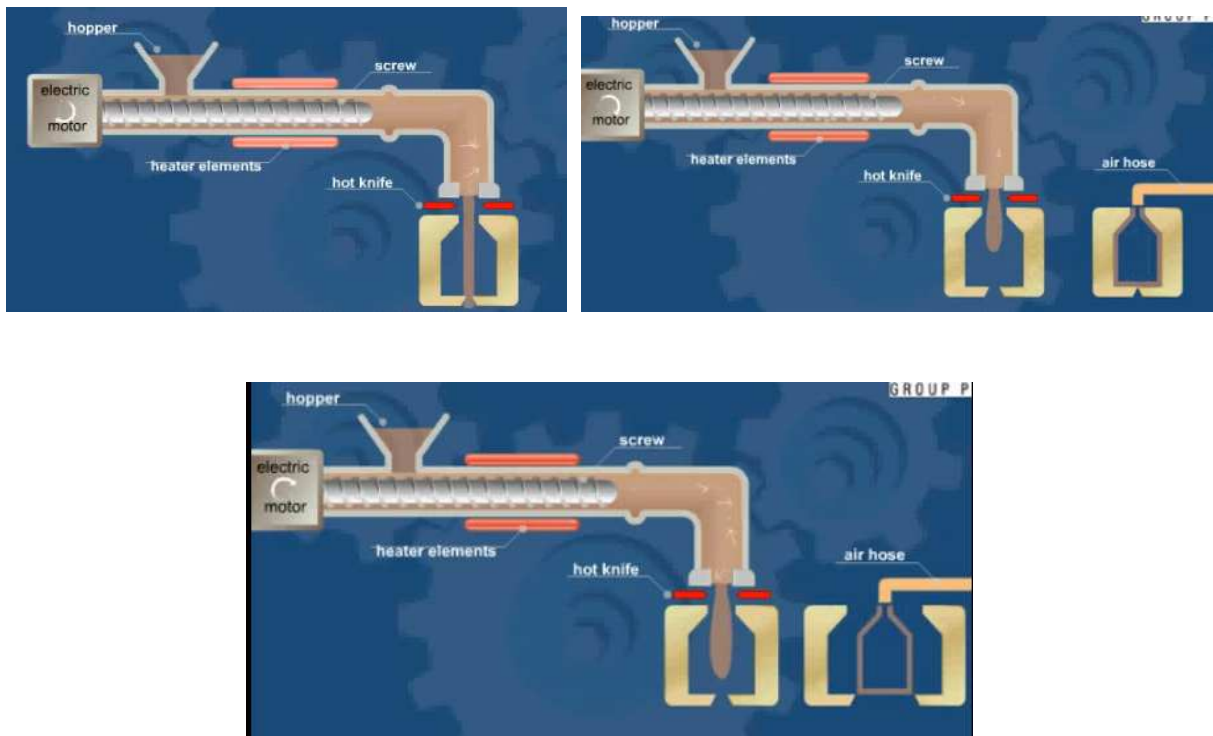


**Figura 3.2. a) Obtención de la preforma b) Operación de soplado y c) extracción de la pieza**



### 3.2. Moldeo por extrusión-soplo

El moldeo por extrusión soplado es un proceso de soplado en el que la preforma es una manga tubular, conformada por extrusión, llamada párison, el cual se cierra por la parte inferior de forma hermética debido al pinzamiento que ejercen las partes del molde al cerrarse, posteriormente se sopla, se deja enfriar y se expulsa la pieza, figura 3.3. Con este proceso se pueden obtener contenedores de hasta 10.000 litros de capacidad sin embargo no se consiguen tolerancias demasiado estrechas. Se puede controlar el espesor del tubo extruido si se requiere con un equipo auxiliar de boquilla variable. También se puede realizar la extrusión de forma discontinua para determinadas formas de trabajo, para ello se utiliza un equipo auxiliar denominado acumulador que dosifica la carga de polímero en una cámara

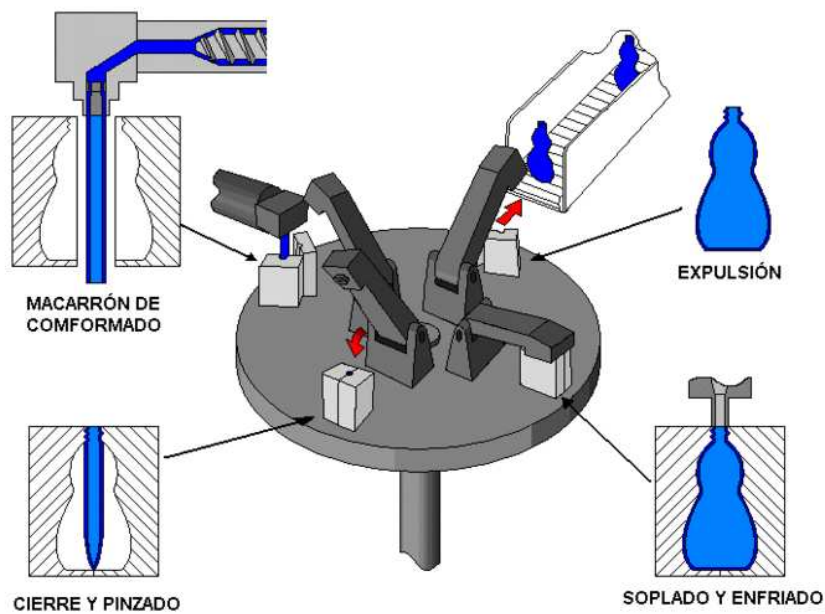


*Figura 3.3. Proceso de extrusión-soplo.*

### 3.3. Moldeo por coextrusión-soplo

Mediante esta técnica de soplado se consiguen productos multicapa. Esto puede interesar por diversas cuestiones como son; incluir diferentes características de permeabilidad,

disminuir el costo de los materiales, al poder utilizarse materiales reciclados o de menor calidad, combinar características ópticas de los polímeros o crear efectos de colores iridiscentes. El párison extruido incluye todas las capas necesarias que en forma de tubo ingresan al molde, en la misma forma que el párison de monocapa. Además el control de espesor del párison se puede llevar a cabo al igual que en el proceso de extrusión-soplado.

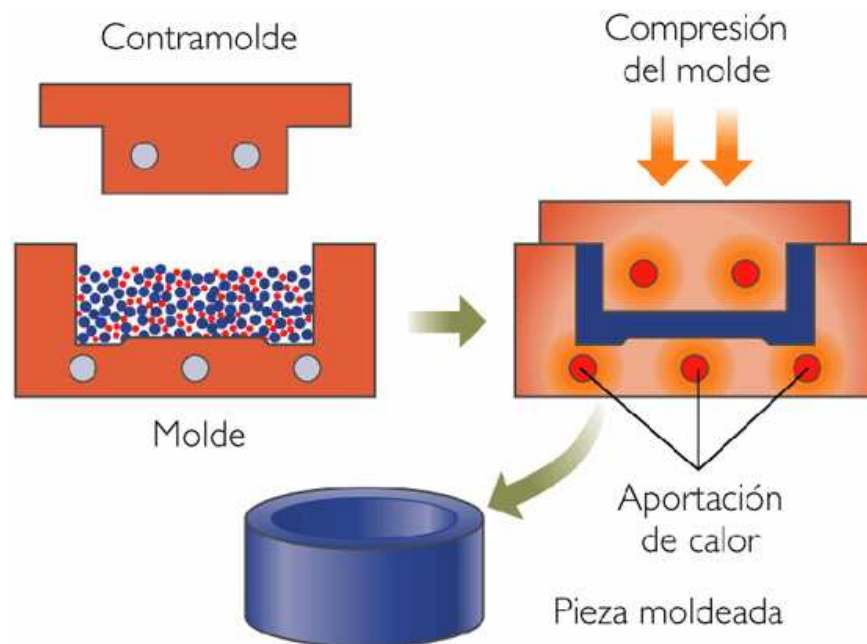


*Figura3.4. Representación del proceso giratorio de macarrón ribeteado*

## CAPÍTULO 4

### MOLDEO POR COMPRESIÓN

El moldeo por compresión es uno de los procesos de transformación de plásticos más antiguo que existe, figura 4.1. Aparece descrito en bibliografía de principios del siglo XIX, aunque no comenzó a desarrollarse a escala industrial hasta 1908, cuando Leo Baeckeland desarrolló las resinas fenol-formaldehído, que siguen empleándose aún hoy en día.



**Figura 4.1. Moldeo por compresión**

El moldeo por compresión es un método de moldeo en el que el material de moldeo, en general precalentado, es colocado en la cavidad del molde abierto. El molde se cierra, se aplica calor y presión para forzar al material a entrar en contacto con todas las áreas del molde, mientras que el calor y la presión se mantiene hasta que el material de moldeo se ha curado. El proceso se emplea en resinas termoestables en un estado parcialmente curado, ya sea en forma de pellets, masilla, o preformas. El moldeo por compresión es un método de alta presión, adecuado para el moldeo de piezas complejas, de alta resistencia con refuerzos de fibra de vidrio. Los compuestos termoplásticos, aunque en menor medida, también pueden ser moldeados por compresión con refuerzos de cintas unidireccionales, tejidos, fibras orientadas al azar o de hilos cortados. La

ventaja de moldeo por compresión es su capacidad para moldear piezas grandes, bastante intrincadas o complejas. Además, es uno de los métodos de más bajo costo en comparación con el moldeo por otros métodos tales como moldeo por transferencia y moldeo por inyección, por otra parte se desperdicia poco material, dándole una ventaja cuando se trabaja con compuestos caros. Sin embargo, el moldeo por compresión a menudo proporciona productos de pobre consistencia y dificultad en el acabado, y no es adecuado para algunos tipos de piezas. En este proceso se produce una menor degradación de la longitud de la fibra en comparación con el moldeo por inyección. Materiales que normalmente se fabrican mediante moldeo por compresión incluyen: sistemas de resina poliéster con fibra de vidrio, (SMC / BMC), Torlon (Poliamida-imida: PAI), Vespel (Poliamida: PA), Polifenileno sulfuro (PPS), y muchos grados de PEEK.

El moldeo por compresión tiene un alto desarrollo en la fabricación de piezas de materiales compuestos para aplicaciones de reemplazo de metales, se utiliza normalmente para hacer piezas más grandes planas o de forma levemente curvas. Este método de moldeo es muy utilizado en la fabricación de piezas de automóviles, tales como cubiertas, defensas, cucharones, spoilers, así como pequeñas piezas más complejas. El material a ser moldeado se coloca en la cavidad del molde y los platos calientes son cerrados por un pistón hidráulico. El moldeo de compuestos a granel (BMC) y el moldeo de lámina compuesta (SMC) utilizan este método de moldeo, estos compuestos son conformados a la forma del molde por la presión aplicada y se calienta hasta que se produce la reacción de curado. El material para el SMC por lo general se corta para ajustarse a la superficie del molde. El molde se enfría y se retira la pieza. Los materiales pueden ser cargados en el molde, ya sea en forma de pellets o lámina, o el molde se puede cargar desde una extrusora de plastificación. Los materiales se calientan por encima de su punto de fusión, se forman y se enfrían. El material de alimentación se distribuye en forma uniforme en la superficie del molde, la orientación del flujo se produce durante la fase de compresión.

En el moldeo por compresión que hay seis factores importantes que se debe tener en cuenta

- Determinar la cantidad adecuada de material.
- Determinar la cantidad mínima de energía necesaria para calentar el material.
- Determinar el tiempo mínimo necesario para calentar el material.

- Determinar la técnica de calefacción adecuada.
- Predecir la fuerza necesaria, para asegurar que el material alcance la forma adecuada.
- Diseño de molde para un enfriamiento rápido después de que el material ha sido comprimido en el molde.

Matrices termoplásticas son comunes en las industrias de producción masiva, por ejemplo las aplicaciones en automoción, donde las principales tecnologías son termoplásticos reforzados con fibra larga (LFT) y termoplásticos reforzados con fibra “Glass Mat” (GMT).

#### **4.1 Definición del proceso**

El moldeo por compresión es un proceso de conformación en que se coloca un material plástico directamente en un molde de metal se calienta y luego se ablanda por el calor, y obligado a conformarse con la forma del molde en el molde cerrado.

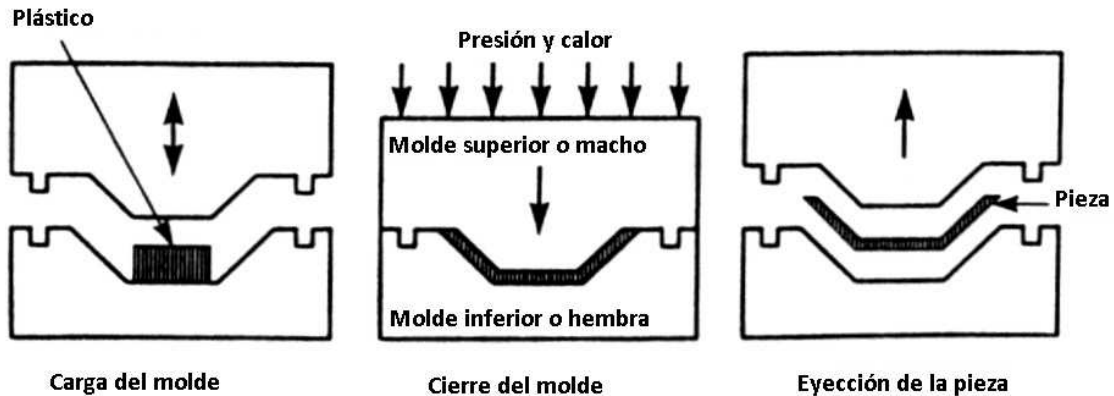
##### **4.1.1. Características del proceso**

El uso de compuestos de plástico termoestable caracteriza a este proceso de moldeo de muchos otros procesos de moldeo. Estos termoestables pueden ser ya sea en forma de pellets o de preformas. A diferencia de algunos de los otros procesos encontramos que los materiales suelen ser precalentados y se cuantifican antes del moldeo. Esto ayuda a reducir el exceso de rebarras. Insertos, generalmente metálico, también puede ser moldeados con el plástico. Se evitan retenciones en la forma del molde, que generan que la eyección sea especialmente difícil. Se ha vuelto una práctica común precalentar la carga antes de colocarla en el molde; esto suaviza el polímero y acorta la duración del ciclo de producción. Los métodos de precalentamiento incluyen calentadores infrarrojos, calentamiento por convección en estufa y el uso de tornillos giratorios dentro de un cilindro calentado. Esta última técnica (tomada del moldeo por inyección) se usa también para medir la cantidad de la carga.

##### **4.1.2. Esquema del proceso**

El moldeo por compresión se inicia, con una cantidad determinada de colocada o introducida en un molde, figura 4.2. Luego el material se calienta a un estado maleable y moldeado. Poco después, la prensa hidráulica comprime el plástico flexible contra el molde, dando como

resultado una pieza perfectamente moldeada que mantiene la forma de la superficie interior del molde. Después la prensa hidráulica retrocede, un pin eyector en el fondo del molde rápidamente expulsa la pieza final fuera del molde y entonces, el proceso concluye.



*Figura 4.2. Esquema del proceso*

#### 4.2. Prensa

Las prensas de moldeo por compresión están orientadas verticalmente y contienen dos placas a las cuales se sujetan las mitades del molde. El proceso involucra dos tipos de actuación: 1) carrera ascendente de la placa del fondo o 2) carrera descendente de la placa superior, pero esta última es la configuración más común. Un cilindro hidráulico acciona generalmente las placas, el cual puede diseñarse para suministrar fuerzas de sujeción de hasta varios cientos de toneladas.



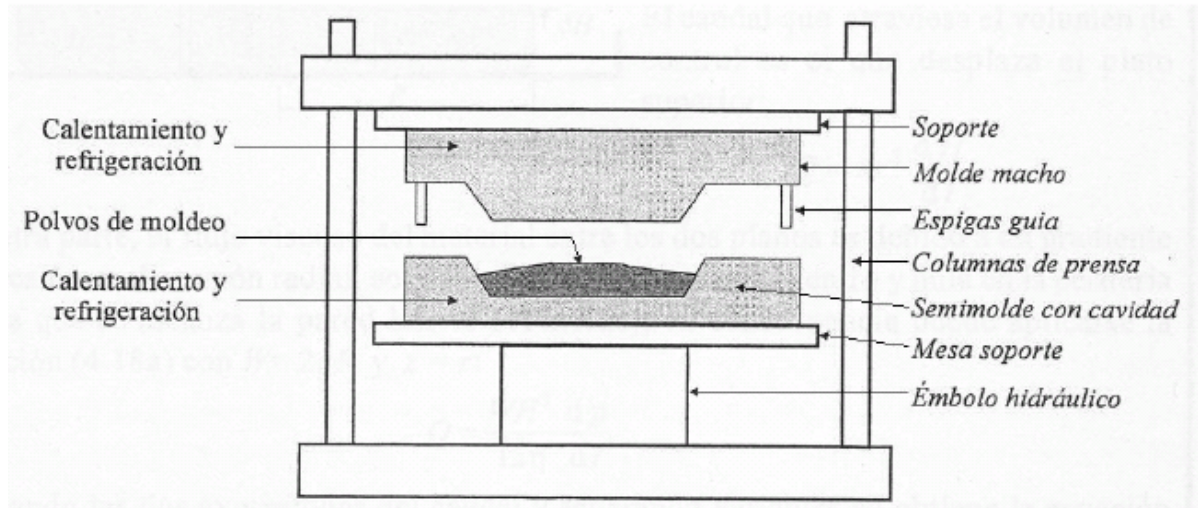
*Figura 4.3. Prensa para moldeo de plásticos*

Las prensas de compresión del molde se fabrican en una amplia variedad de tamaños. La mayoría de las prensas utilizan un cilindro hidráulico con el fin de producir la suficiente fuerza durante la operación de moldeo. Las prensas pueden generar presiones que van desde 300 a 4.000 toneladas. La resina es aditivada con la preforma, (en el caso de SMC y BMC ya contienen todos los componentes, incluida la fibra, resina, cargas, catalizador etc.). El calor y la presión se aplican, con rangos de temperatura de 225°F a 325°F (107°C a 163°C) y 150 a 1.000 psi de presión, necesarios para curar las piezas. Los ciclos pueden variar desde menos de uno minuto a cinco minutos. Las maquinaria constan de un molde “émbolo” macho y un molde hembra y espigas guías que aseguran el encastre perfecto entre ambos.

#### **4.3. Moldes**

Los moldes para este proceso son generalmente más simples que los de su contraparte, el moldeo por inyección. No hay vertederos o sistemas de alimentación en un molde por compresión y se procesan partes de formas más simples debido a que los materiales termofijos poseen una capacidad de flujo más baja. Sin embargo, se necesitan accesorios para calentar el molde que puede hacerse mediante resistencia eléctrica, vapor o circulación de aceite caliente. Los moldes

de compresión pueden clasificarse en *moldes manuales* usados para corridas de ensayo; *semiautomáticos*, en los cuales a la etapa de prensado le sigue un ciclo programado, pero el operador carga y descarga manualmente la prensa; y *automático* el cual opera bajo ciclos de prensado completamente automático (incluyendo la carga y la descarga automática).



**Figura 4.4. Elementos de un molde para moldeo por compresión**

#### 4.4. Materias primas

Las resinas termoestables típico utilizadas en las piezas moldeadas por compresión son poliésteres, poliuretanos, resinas urea-formaldehído, ésteres de vinilo, resinas epoxi y resinas fenólicas. Los elastómeros (ejemplo: cauchos y siliconas) también suelen ser moldeados por compresión. Como se ha hecho mención anteriormente algunos termoplásticos también pueden ser moldeados por compresión, pero por cuestiones de tiempo de ciclo, por lo general se utiliza el moldeo por inyección en estos últimos, salvo el caso de termoplásticos de difícil procesado o bajas cantidades o piezas técnicas.

Las materias primas utilizadas pueden estar en forma de pellets, polvo, líquido, preformas sólidas o en estado semisólido.

#### 4.5. Piezas producidas por compresión

Este proceso se utiliza comúnmente para la fabricación de componentes eléctricos, vajilla, y engranajes. Este proceso también se usa para producir botones, hebillas, perillas o manijas,



carcasas de aparatos eléctricos y grandes contenedores. Los discos fonográficos de PVC se producían por este método.

#### **4.6. Principales aplicaciones**

- Materiales termoplásticos y elastómeros, para piezas de pequeñas dimensiones.
- Compuestos reforzados con fibras de vidrio (a partir de resinas epoxi, de poliéster, etc.):
  1. BMC (bulk molding compounds): reforzados con fibras de 3-12mm. Ejemplo: cuerpo de taladro eléctrico.
  2. SMC (sheet molding compounds): se sitúan en el molde alternativamente capas de fibras de aproximadamente 25mm y capas de mezcla de resina y otros componentes. Preferentemente utilizado para piezas de gran superficie y pequeño espesor. Ejemplo: paneles para vehículos.
  3. TMC (thick molding compounds): combinación en capas de BMC y SMC, para placas de gran espesor.
- (Modificación de la técnica) Estampado de chapas y preformas de termoplásticos (thermoplastics sheet stamping), reforzados con fibras textiles o de vidrio.
- Ya no utilizada para termoplásticos o utilizado en menor medida (ejemplo: era el método para la producción de discos LP).

#### **4.7. Ventajas y desventajas del moldeo por compresión**

##### **- Ventajas**

- Fluido en pequeñas distancias: menores tensiones internas.
- Bajo costo de mantenimiento y de fabricación de moldes.
- Diseño sencillo de moldes, al no haber entrada y canales.
- Permite moldeo de piezas complejas
- Buen acabado superficial (en general)
- Desechos de materiales relativamente bajo

##### **- Desventajas**

- El molde debe mantenerse a temperatura no excesiva, para que las paredes no curen mucho más rápido que el interior. Por tanto, tiempos largos de curado.

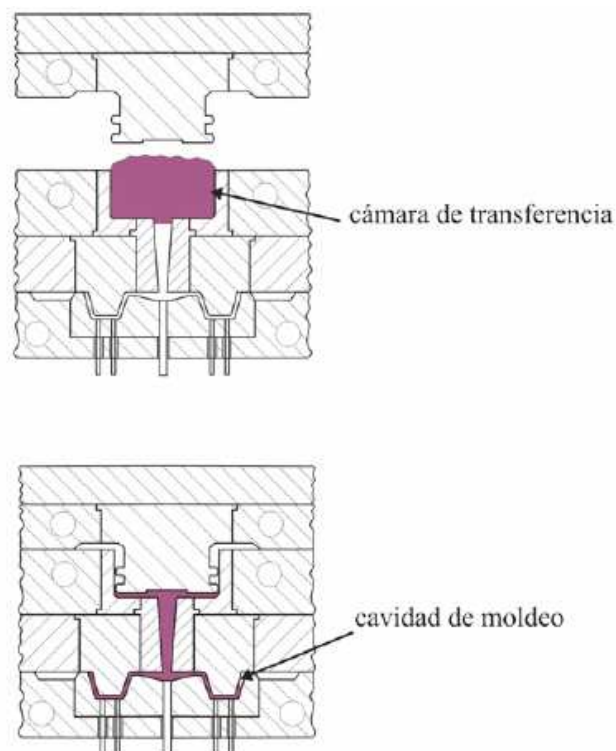
- No es muy aconsejable cuando se trata de moldear artículos de forma muy complicada con resaltes, entrantes o pequeños taladros laterales.
- Tampoco es aconsejable para moldear artículos de paredes gruesas (1 cm o más).

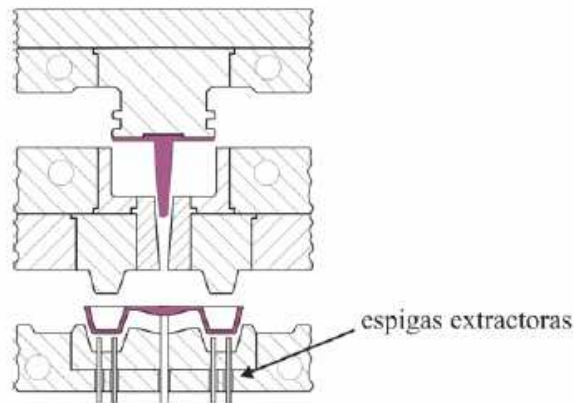
En el moldeo por compresión el material, bien líquido, o en forma de polvo, granza o de pastillas preformadas (preformas), se coloca en el molde caliente, y este se cierra lentamente, hasta que las dos mitades del molde ejercen presión sobre el material. Conforme el molde va cerrándose, el material es obligado a ocupar todas las partes de la cavidad de moldeo. En ciertos casos, es ventajoso realizar el moldeo cerrando primeramente el molde casi por completo y abriéndolo después unos segundos antes de aplicar la presión definitiva. De esta forma se deja “respirar” al material, para permitir la evacuación del gas que queda atrapado entre el polvo de moldeo o que es generado en la reacción de polimerización. Una vez que el molde se ha cerrado completamente se aplica la máxima presión, que provoca el llenado final y completo de la cavidad. Bajo la acción conjunta del calor y la presión tienen lugar las reacciones de entrecruzamiento que transforman al material termoendurecible en termoestable, proceso que se conoce vulgarmente como “curado”. Tras el curado se abre el molde y se extrae la pieza totalmente sólida, que solamente alcanza su rigidez definitiva cuando se ha enfriado totalmente. Cuando la pieza tiene forma complicada o grandes dimensiones, es aconsejable colocarla en conformadores después de extraerla del molde, para evitar que se deforme mientras se enfría.

## CAPITULO 5

### MOLDEO POR TRANSFERENCIA

El moldeo por transferencia es un desarrollo a partir del moldeo por compresión en el que el compuesto de moldeo se introduce en una cavidad dentro del molde, de modo que al cerrar el molde el compuesto se transfiere hasta las diferentes cavidades de moldeo a través de una serie de canales. En la figura 5.1. se muestra un esquema de este proceso.





**Figura 5.1. Moldeo por transferencia**

El proceso de transferencia es, por lo tanto, un proceso intermedio entre la inyección y la compresión y presenta una serie de ventajas y desventajas respecto a estos. El moldeo por transferencia está indicado en el caso de que se deseen moldear muchas cavidades o cuando el llenado del molde con el material de moldeo resulte problemático (moldes muy planos, con inserciones metálicas, cuando se emplea polvo de moldeo de densidad aparente muy baja, etc.).

El ciclo en moldeo por transferencia suele ser algo más corto debido a la mejor transferencia de calor cuando el material circula por los canales. En contrapartida el moldeo por transferencia presenta una serie de desventajas frente al moldeo por compresión: el flujo del material a través del molde es más complejo, por lo que puede darse cierto grado de orientación; los moldes sufren más abrasión de modo que el mantenimiento es más costoso; los equipos son más complejos y más caros; y por último el material que queda en los canales tras el proceso es material de desecho, que no se puede reutilizar (nota: en la industria por lo general este material puede ser utilizado en bajas proporciones, reducido a polvo, como relleno en este u otros procesos de termoestables para reducir costos, pero reduciendo las propiedades técnicas de las piezas obtenidas).

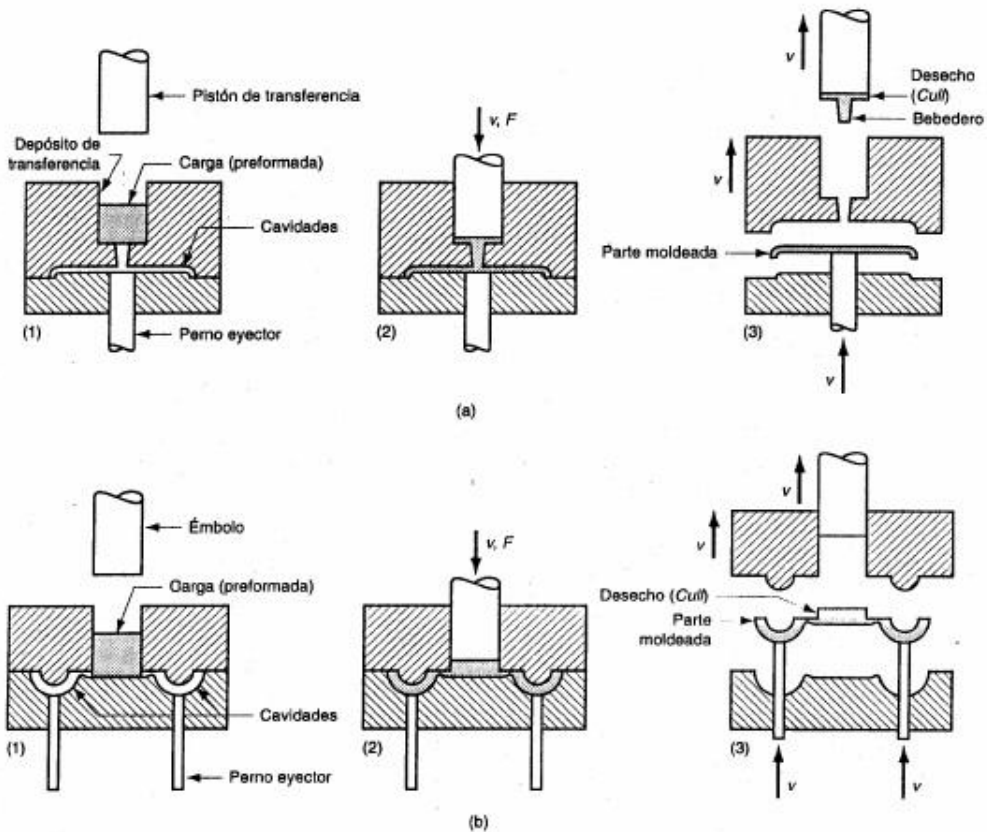


*Figura 5.2. Prensa para moldeo por transferencia*

### **5.1. Descripción del proceso**

Una cantidad cuantificada de un termofijo (preformado), por lo general precalentado, se carga en una cámara inmediata a la cavidad del molde (cámara de transferencia), donde se calienta; se aplica entonces presión mediante un pistón hidráulico para forzar al polímero a fluir, a través de un canal llamado bebedero, dentro del molde caliente. Si bien dependerá de la resina utilizada y el tamaño de la pieza, el cilindro de transferencia empuja el plástico termoestable a través de los canales de alimentación hacia las piezas con una fuerza de 5.5 – 6.9 MPa y un tiempo de entre 3 - 8 segundos. El molde se mantiene cerrado y calefaccionado hasta que el material del interior se cura. Una vez curado el material, el molde se abre y los pines o pernos eyectores expulsan la pieza terminada

Las dos variantes de este proceso se ilustran en la figura 5.3.



**Figura 5.3. (a) Moldeo de depósito de transferencia y (b) moldeo con émbolo de transferencia. El ciclo en ambos procesos es (1) se coloca la carga en el depósito, (2) el polímero ablandado se prensa en la cavidad M del molde y se cura y (3) se expulsa la parte moldeada.**

**(a) Moldeo con recipiente o cámara de transferencia**, en el cual la carga se inyecta de un recipiente a través de un canal vertical en la cavidad; y

**(b) moldeo con émbolo de transferencia**, en el cual se inyecta la carga en la cavidad del molde por medio de un émbolo desde un depósito que se calienta a través de los canales laterales. En ambos casos se produce material de desperdicio en cada ciclo por la pieza desechada que se queda en la base del depósito y en los canales laterales. Además, el vertedero del recipiente de transferencia es también material de desecho. Este desecho no puede recuperarse debido a que los polímeros son termofijos.

El moldeo por transferencia está relacionado estrechamente con el moldeo por compresión, debido a que utiliza el mismo tipo de polímeros (termofijos y elastómeros). Existen

similitudes con el moldeo por inyección, ya que la carga se precalienta en una cámara separada, y luego se inyecta en el molde. En el moldeo por transferencia se pueden moldear formas de partes más intrincadas que en el moldeo por compresión pero no tan intrincadas como las del moldeo por inyección. El moldeo por transferencia también se presta para usar insertos de metal o de cerámica que se colocan en la cavidad antes de la inyección, el plástico calentado se adhiere al inserto durante el moldeo.

Las piezas moldeadas por transferencia tienen menos flash (el exceso de material que se ejecuta a lo largo de la línea de separación del molde) que sus homólogos de moldeo por compresión debido a que el molde se mantiene cerrado cuando el plástico entra en la cavidad del molde. Sin embargo, el moldeo por transferencia aún produce más materiales de desecho de moldeo por compresión a causa de la colada, los agujeros de aire, y los surcos de desbordamiento que a menudo son necesarios para permitir que escape el aire y el material excedente se desborde.

### 5.2. Características del proceso

Como se mencionó anteriormente, una de las principales ventajas del moldeo por transferencia sobre el moldeo por compresión es que las diferentes inserciones, tales como piezas de metal, chips semiconductores, compuestos de fibras secas y cerámicas se pueden utilizar (colocados en la cavidad del molde antes de que el polímero se inyecte). Cuando el polímero se calienta y transfiere llena el molde y forma la unión con la superficie de inserción. Esta capacidad hace que el proceso de moldeo por transferencia sea líder en la fabricación de circuitos integrados y componentes electrónicos con terminales moldeados, clavos, pernos, conectores, etc.

### 5.3. Ventajas y desventajas del proceso respecto a la compresión y la inyección

Ventajas	Desventajas
Producto con mejor consistencia que el moldeo por compresión, lo que permite una más estricta tolerancia y piezas más intrincadas	Mayor material de residuo que el moldeo por compresión
Producción superior a la velocidad de	La velocidad de producción es más baja

moldeo por compresión	que el moldeo por inyección
Tiempo de preparación rápida y costos de instalación menores que el moldeo por inyección	La complejidad de las piezas obtenidas es inferior que el moldeo por inyección
Menores costos de mantenimiento que el moldeo por inyección	Costos mayores en maquinaria y tecnología que el moldeo por compresión
Ideal para piezas de plástico con inserciones de metal	Se moldean tanto termoestables como termoplásticos a diferencia del moldeo por inyección

En la industria de los composites, los compuestos reforzados con fibra son a menudo fabricados por un proceso llamada moldeo por transferencia de resina (RTM). Capas de preformas textiles (fibras largas tejidas o siguiendo patrones organizados) están pre-dispuestos en el molde. La resina, entonces, se inyecta para impregnar la fibra. Se utiliza a menudo vacío para evitar burbujas de aire y ayudar a la resina a entrar en la cavidad del molde. La resina que se utiliza tiene que ser relativamente baja viscosidad.

#### **5.4. Materiales procesados por moldeo por transferencia**

A pesar de moldeo por transferencia también puede ser utilizado para los termoplásticos, la mayoría de los materiales utilizados en este proceso son termoestables, los más comunes son:

- Resinas epoxicas
- Resinas poliéster insaturadas
- Resinas de viniléster
- Resinas Fenol-formaldehído
- Elastómeros (Caucho natural, Caucho de silicona, caucho SBR, etc.)

Si la resina moldeada utilizada es un termoplástico, el molde se puede abrir en estado caliente. Los termoestables curados mantienen su forma y dimensiones, incluso en estado caliente.



Si se trata del moldeo de un termoplástico, el molde y la pieza moldeada se enfrían antes de ser abierto.

### 5.5. Piezas obtenidas

Algunos productos comunes obtenidos por moldeo por transferencia son mangos para utensilios, botones o teclas, piezas de aparatos eléctricos, componentes electrónicos y conectores.

El moldeo por transferencia es ampliamente utilizado para encerrar o encapsular elementos tales como bobinas, circuitos integrados, clavijas, conectores y otros componentes.



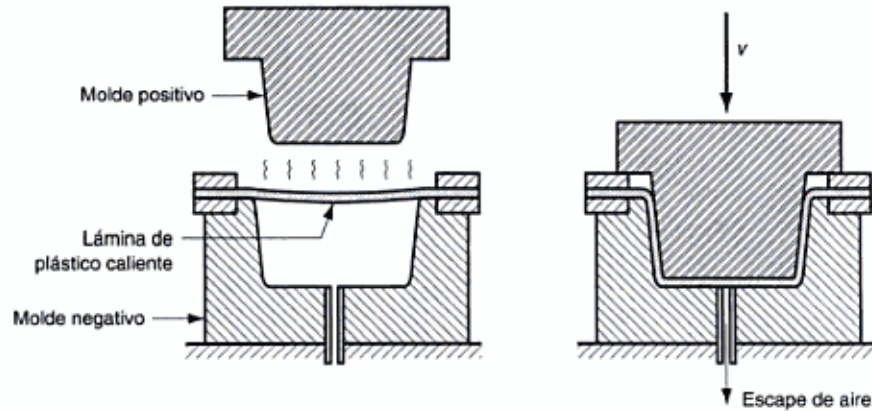
*Figura 5.4. Piezas producidas mediante moldeo por transferencia a) Perilla y b) Molde y Tapones de caucho*

## CAPÍTULO 6 TERMOFORMADO

El termoformado es un proceso secundario el cual consiste en dar forma a una lámina de un termoplástico. Consta de dos pasos principales: calentamiento y formado. El calentamiento se realiza por medio de calentadores eléctricos en ambos lados de la lámina. La duración del ciclo de calentamiento debe ser suficiente para ablandar la lámina dependiendo el tipo de plástico, el espesor y su color. Los métodos de formado se pueden clasificar en tres categorías:

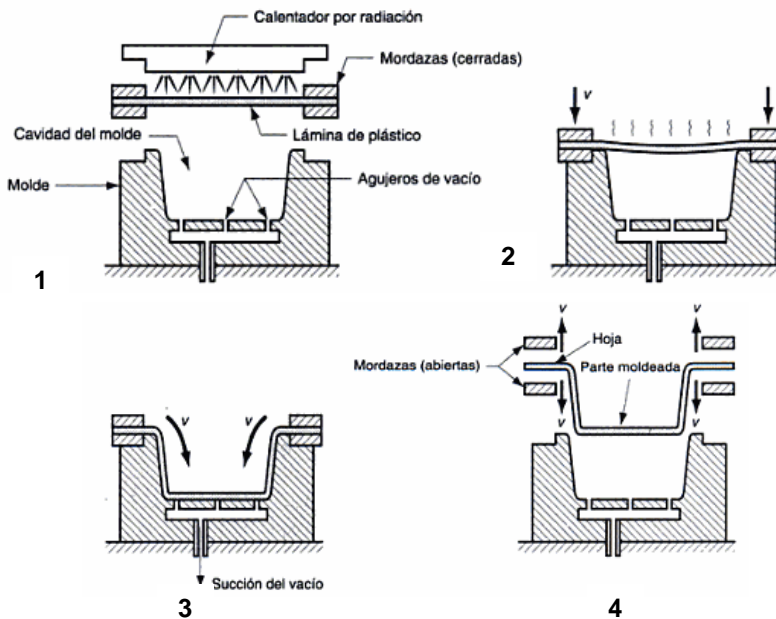
- Termoformado mecánico (Figura 6.1): usa un par de moldes (positivo y negativo) que se aplican contra la lámina de plástico caliente forzando a adquirir la forma. En este método

no se usa vacío ni presión de aire.



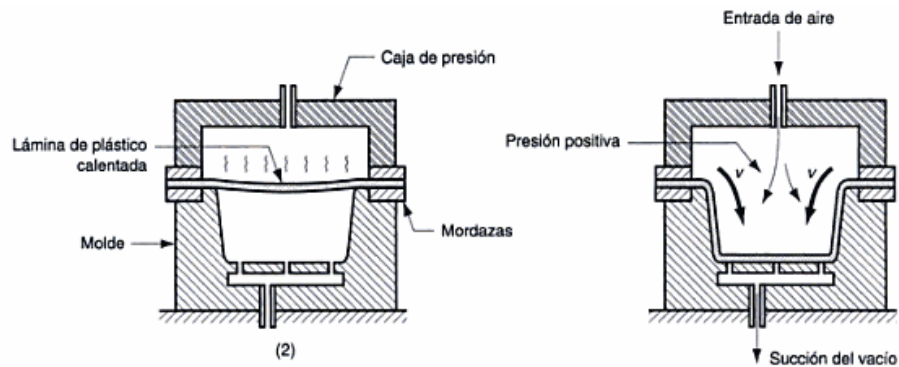
*Figura 6.1. Termoformado mecánico.*

- Termoformado al vacío (figura 6.2): en el cual se usa una presión de vacío para adherir la lámina precalentada a la cavidad del molde. 1. Se suaviza la lámina por medio de calentamiento, 2. Se coloca sobre la cavidad de un molde, 3. El vacío atrae la lámina hacia la cavidad, 4. El plástico se endurece al contacto con la superficie fría del molde, la parte se retira y luego se recorta de la hoja.



*Figura 6.2. Se muestran los pasos principales del termoformado al vacío. 1. Calentamiento. 2 acoplamiento. 3. Succión de la lámina. 4. Enfriamiento y corte.*

- Termoformado a presión (figura 6.3): este utiliza tanto el vacío como presión de aire positiva para forzar a la lámina precalentada dentro de la cavidad del molde. El proceso es similar al termoformado al vacío la diferencia es que se aplica una presión de aire para que la lámina ya suavizada entre en contacto con la cavidad del molde.



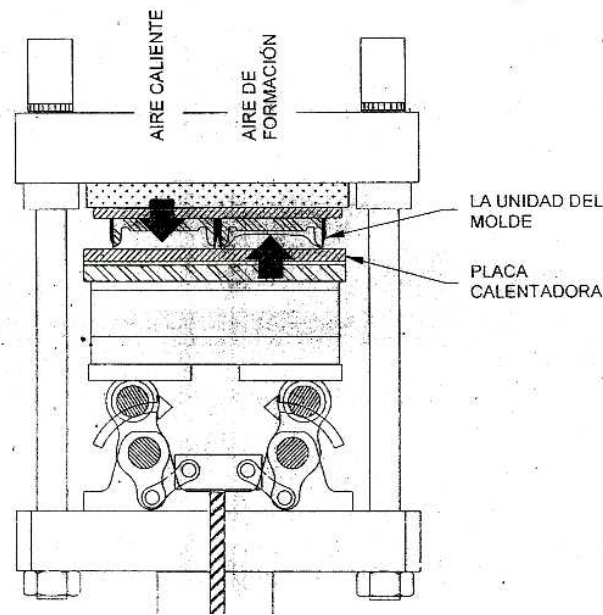
*Figura 6.3. Termoformado a presión.*

El termoformado a presión se utiliza por ejemplo, para la manufactura de los envases para alimentos (figura 6.4). El proceso se realiza en las siguientes etapas que conformaría un ciclo:



*Figura 6.4. Termoformadora modeloGN3030D*

1. Calentamiento: la lámina de plástico se hace pasar primero por un precalentador sándwich para ablandarla después llega a la zona de calentamiento donde se inyecta presión de aire caliente hacia la placa calentadora (Platina). Esta es una placa perforada que tiene 3 zonas de calentamiento. Por estos orificios se hace pasar el aire de formación (figura 6.5). Dependiendo del producto se utilizan plantillas de cobre llamados Baffles que se colocan en medio de la platina y ayudan a que el aire de formación solo fluya en las zonas necesarias.



**Figura 6.5.** Vista frontal de la termofomadora GN3030D, se muestra el proceso de calentamiento, formado, direcciones de las presiones de aire caliente y aire de formación, así como los componentes principales para el proceso.

2. Formado: ya que la lámina se vuelve flexible se inyecta aire a presión a través de la placa calentadora lo que hace que el material entre en contacto con el molde y adquiera su forma. El molde tiene pequeños agujeros que evitan que el aire atrapado entre en el molde y se deforme la pieza, figuras 6.6 y 6.7



**Figura 6.6.** Domo para pastel .Ensamble de cavidades, suajes en placa de sujeción.

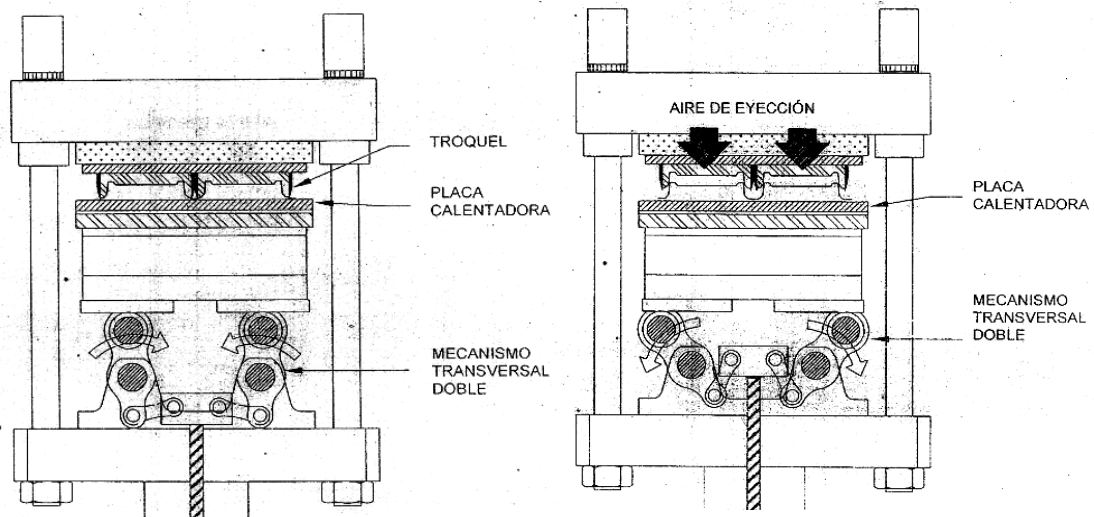


**Figura 6.7.** Cavidad o molde de aluminio.

3. Enfriamiento: este proceso lo realiza el molde ya que este tiene un sistema de refrigeración por medio de agua lo que permite que inmediatamente que la lámina caliente entra en contacto directo con toda el área del molde esta se enfría.
4. Troquelado: ya que la pieza fue enfriada se realizan los cortes necesarios en la pieza por medio de los troqueles o también llamados suajes (figura 6.8). La pieza ya fría y corta es expulsada por medio de aire frío y se reinicia el proceso para un nuevo ciclo, figura 6.9.



*Figura 6.8. Suajes para domo y base.*



*Figura 6.9. Proceso de corte o troquelado y proceso de expulsión o eyección*

## CAPITULO 7

### EXTRUSIÓN

La extrusión es un proceso por el cual es posible obtener productos acabados o semiacabados en régimen continuo.

Utilizándose equipos que funden, homogeneizan y fuerzan al polímero a pasar a través de matrices de forma definida – asociados a equipos auxiliares como corte, conformación, soldadura, etc. – se pueden producir tubos, películas, chapas, filamentos perfiles, frascos, bidones, etc. Este proceso puede ser también empleado para el revestimiento de sustratos como papel, aluminio y conductores eléctricos.

La figura 7.1 presenta algunos productos acabados obtenidos a partir del proceso de extrusión.



*Figura 7.1. Algunos productos que se obtienen mediante extrusión*

La extrusión es un término que asocia al equipo (extrusora), utilizado para efectuar tal proceso, al procesamiento del polímero, propiamente dicho. A pesar de ser distintos, todavía así se torna difícil separarlos, pues, la verdad, uno complementa al otro. De este modo, se hace una descripción unificada proceso/equipo, una descripción sucinta de cada proceso de extrusión para la obtención de diversos tipos de productos acabados y de las características del tipo de PEAD, que puede ser utilizado.

### **7.1. Tipos de extrusoras**

Para que sea realizado el proceso de extrusión, es necesario aplicar presión al material fundido, forzándolo a pasar de modo uniforme y constante a través de la matriz. Atendiendo a estos requisitos, las máquinas extrusoras se clasifican en: extrusoras de desplazamiento positivo y extrusoras de fricción.

#### **Extrusoras de desplazamiento positivo**

Se obtiene la acción de transporte mediante el desplazamiento de un elemento de la propia extrusora. En la matriz la reología del polímero tiene mayor influencia sobre el proceso.

#### **Extrusora de pistón (inyectora)**

Un pistón, cuyo accionamiento puede ser hidráulico o mecánico, fuerza al material a pasar a través de la matriz. Es utilizada para la extrusión de polímeros termofijos, politetrafluoretileno, Polietileno de Alta Densidad de Ultra Alto Peso Molecular (PEAD – UAPM), metales y materiales cerámicos.

#### **Extrusoras de fricción**

La acción del transporte, conseguida aprovechándose las características físicas del polímero y la fricción de éste con las paredes metálicas transportadoras de la máquina, donde ocurre la transformación de energía mecánica en calor que ayuda a la fusión del polímero. La reología del polímero tiene influencia sobre todo el proceso. Los tipos son: extrusora de cilindros y extrusora de rosca.



### **Extrusora de cilindros**

Consiste, básicamente, en dos cilindros próximamente dispuestos. El material a ser procesado pasa entre estos cilindros y es forzado a pasar por una matriz. Este proceso es utilizado para algunos elastómeros y termoplásticos. La figura 2 representa una esquematización de este tipo de extrusora.

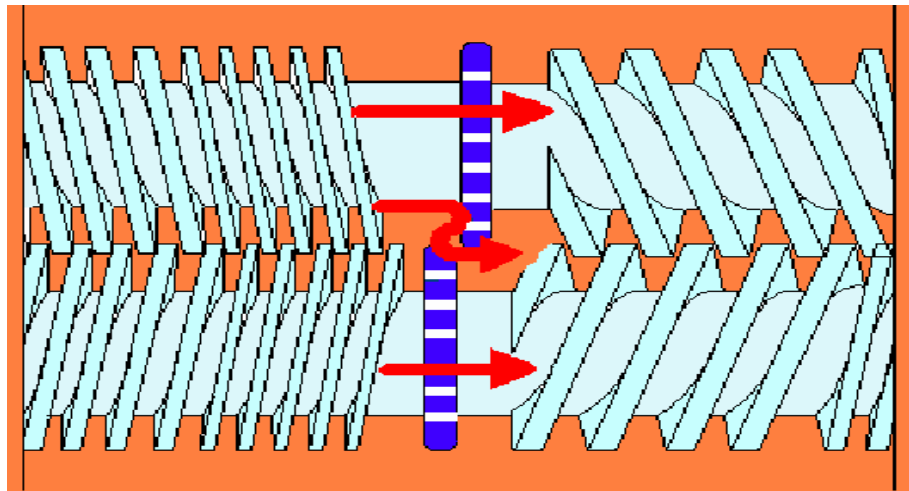
### **Extrusora de rosca**

Las extrusoras de rosca pueden estar constituidas por una, dos o más roscas. Son las más utilizadas para la extrusión de termoplásticos, comparadas con todos los demás tipos de extrusoras.

#### **7.2. El proceso de extrusión de PVC.**

Por medio de una unidad de tornillo dosificador el cloruro de polivinilo (PVC) entra a la extrusora de doble tornillo, que se encarga del transporte y gelificación del PVC.

Los tornillos de la extrusora se entrelazan, creando cámaras separadas las cuales pueden eficientemente transportar la materia prima. (Ver Figura 7.2).



*Figura 7.2 Transporte y gelificación del PVC.*

El PVC es calentado de dos formas: por fricción de los tornillos / barril y por conducción térmica del calor desde el barril. La fricción provee la mayor parte del calor del PVC. Durante el transporte en avance el volumen de la cámara es menor, lo que es llamado compresión. La compresión se encarga de que el PVC, el Barril y los tornillos tengan un contacto directo permitiendo una transferencia efectiva de la fricción y conducción térmica del PVC. Para cuando el PVC llega a los bloqueadores del material (coladores, deflectores o zona de desvío) los granos están más o menos unidos unos a otros. La temperatura aumenta cerca de 100°C.

Después de la zona de deflexión el volumen de las cámaras es súbitamente aumentado, el PVC ha entrado en la zona de ventilación. Por medio de un aspirador se saca el exceso de gases y aire al PVC, si esto no se hiciera, las paredes del tubo se llenarían de pequeñas burbujas de aire, la calidad del tubo será entonces muy pobre.

Después de la zona de ventilación el volumen de las cámaras decrece por segunda vez. En esta parte de los tornillos el PVC se calienta de nuevo, principalmente por fricción. Al mismo tiempo la presión se va acumulando para exprimir el PVC a través del cabezal al mismo tiempo el material sale de los tornillos, su temperatura se eleva a 190 - 200°C a una presión de 400- 500 bares.

La temperatura de fusión es medida por medio de una sonda termoeléctrica la cual es instalada en el acople. La temperatura medida de esta forma indica la gelificación del PVC. Dependiendo del tipo de cabezal usado, la temperatura de fusión debe estar por lo menos entre 185 a 190°C para una buena gelificación.

Usualmente se necesita de cuatro a cinco cámaras para crear la presión par el cabezal esto cerca de 100 bares por cámara. El lado negativo de esto es que el PVC es ondulado por medio de sacudidas, y esa curvatura se produce aquí.

### **Pieza de dos canales, pieza del cuello y cubo**

La presión generada por la extrusora, presiona el PVC a través de la pieza de dos canales, el

cuello y el cabezal. Durante este proceso la forma de la mezcla cambia continuamente: de forma de “8”, a circular (en el cuello) y a anular (araña y asentadero).

Estos cambios de forma son muy importantes, el material se va moldeando y se empieza a “olvidar” como fue en el pasado. De esta forma la curvatura decrece por el cabezal. A mitad de camino en el cabezal, la mezcla es cortada en 6 o más pedazos por las patas de araña, son soldados juntos nuevamente en la última parte de los conos. Esta soldadura sucede bajo la influencia de los pines y la producción de la compresión de los mismos.

La extrusora es el corazón del proceso de extrusión. Se encarga de transportar y calentar el PVC, además de generar la presión necesaria para exprimir el PVC a través del cabezal.

### **¿Por qué una estructura de doble tornillo?**

Siempre para procesar la materia prima se usa una extrusora de doble tornillo que rota en forma contraria. Las razones para esta selección son:

- Una entrada eficiente y transporte de materia prima.
- Una alta capacidad de aumentar la presión.
- Una alta capacidad de transporte por revolución del tornillo.

La alternativa de una extrusora de doble tornillo a una de uno sólo. No obstante, en una extrusora simple el transporte eficiente depende en gran parte de la cantidad de fricción en PVC / barril y PVC / tornillo. Un alto nivel de fricción entre PVC / barril y un bajo nivel en el tornillo proporciona un alto acarreo por revolución. La materia prima es transportada hacia adelante como un tapón estático sobre un sacacorchos rotando. Por otro lado un acarreo deficiente por revolución, resultará en un bajo nivel de fricción en el barril y un alto nivel en el tornillo. Además la cantidad de fricción entre el metal del barril o el tornillo y el rendimiento de la extrusora puede cambiar, causado por un descenso de la temperatura. Una extrusora de doble tornillo no da estos problemas, ya que estos se entrecruzan formando cámaras muy juntas, las cuales acarrearán el PVC hacia adelante, de la misma forma en que los vagones de un tren transportan material.

Muy importante es la capacidad de aumentar la presión de la extrusora. En una extrusora simple esta capacidad es limitada porque el material derretido puede fluir en retroceso libremente a través del canal abierto del tornillo. En una extrusora doble esto es imposible debido a que el vuelo de los tornillos opuestos bloquean los canales. Por supuesto, las brechas siempre se mantendrán y por consiguiente la capacidad de aumento de la presión de una extrusora doble no será infinita, pero es mucho más alta que la capacidad de una simple. En una extrusora doble la altura del canal puede hacerse considerablemente alta, debido a este efecto de estrechez, esto tiene la ventaja de que la fricción del PVC puede mantenerse baja. De otra forma existe una gran posibilidad de que el material se quemara.

### **Velocidad de los tornillos.**

La velocidad máxima circunferencial del tornillo de una extrusora doble es limitada. Las máquinas son siempre diseñadas de modo que la velocidad circunferencial del tornillo en la pared del barril no exceda 0.2 m/s. La razón de esto no es clara. Es posible que esto tenga que ver con la cantidad de uso de los tornillos.

De todas formas la mayoría de los fabricantes de extrusoras de tornillos paralelos se acogen a esta regla. Los tornillos cónicos son una excepción a lo mencionado anteriormente, debido al diámetro más grande al comienzo de los tornillos la velocidad circunferencial es considerablemente más alta que 0.2 m/s en este caso.

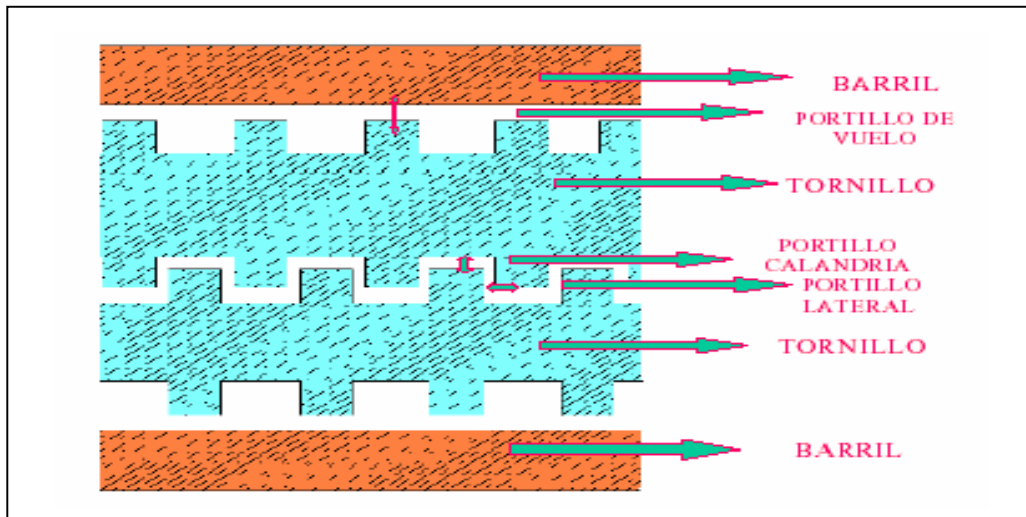
### **Las salidas de escape de los tornillos.**

Los dos tornillos que se entrecruzan no están totalmente sellados. Ahí siempre existirán portillos entre los dos tornillos. Estos portillos tienen una importantísima influencia en el proceso de extrusión. Entre otras cosas esto determina la capacidad de formación de presión y la ondulación del tubo. Por esta razón en este párrafo indicaremos cuales portillos existen y como se les llama (ver figura 7.3).

· **Portillo de vuelo:** está entre las aletas de la parte superior del tornillo y la pared del barril. Usualmente este es de 0.1 mm.

· **Portillo calandria:** es entre una aleta del tornillo y el centro del otro. Mayormente este portillo es de 2 mm.

· **Portillo lateral:** este es entre las aletas del primer tornillo y la del segundo. Los tamaños varían desde 2 a 6 mm.



*Figura 7.3. Portillos entre los tornillos y el barril.*

### 7.2.1 Geometría general del tornillo.

Básicamente, el tornillo de un extrusor de doble tornillo puede ser comparado a una bomba de dos etapas. La primera y la segunda etapa son casi idénticas y están separadas por el cierre de polvo (los elementos de Kesterman, elementos de compresión). Cada etapa consiste de un número de zonas (ver Figura. 7.4), por ejemplo:

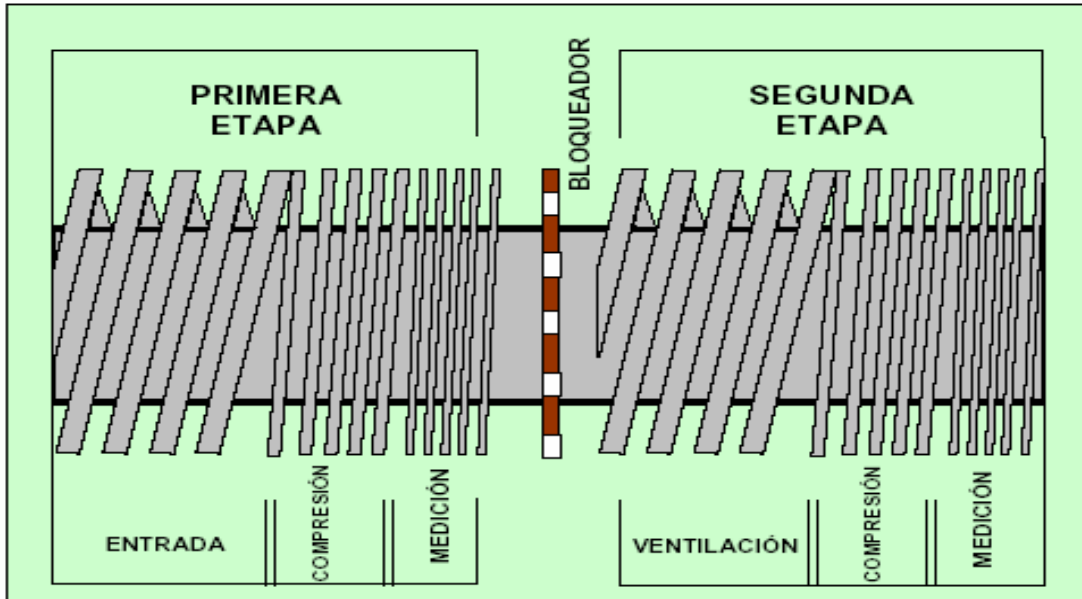
Para la primera etapa estas son:

- La zona de entrada del compuesto.
- La primera zona de compresión.
- La primera zona de medición.

Para la segunda etapa:

- La zona de venteo o liberación de gases.
- La zona de segunda compresión.

- La zona de segunda medición o zona de bombeo.



*Figura 7.4 Geometría General de Tornillo*

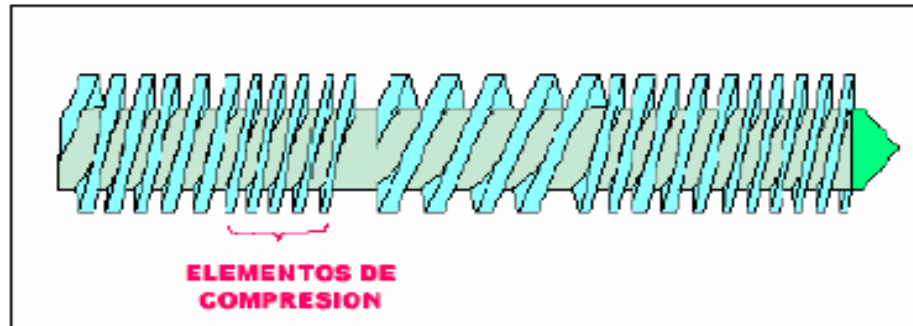
### **Zona de entrada de compuesto**

A través de la tolva el compuesto penetra al barril y posteriormente al tornillo. La abertura de la tolva está diseñada tan grande como sea posible, pues la entrada muy reducida puede causar un vértigo del material pobre. La inclinación escogida en esta zona del tornillo es grande, debido a que la densidad del compuesto es baja (570 g/l) y al pasar a través de todo el tornillo la densidad del compuesto de PVC se incrementa a aproximadamente 1400 g/l).

### **La primera zona de compresión**

Debido al incremento en la densidad del compuesto de PVC es necesario reducir la inclinación del tornillo. Si no se hiciera esto, el PVC podría perder un buen contacto con el metal del barril y el tornillo y como resultado de esto el calentamiento del material se hace más dificultoso debido a la poca fricción y transmisión de calor.

La inclinación en la primera zona de compresión es reducida, y su longitud es de aproximadamente 3.5 a 4.5 veces el diámetro. En esta área el volumen de las cámaras se reduce en cerca de 1.6 veces. Ver (Figura 7.5)



*Figura 7.5 Elementos de compresión.*

### **La primera zona de medición**

Esta zona se utiliza para dar un calentamiento adicional al PVC y presionarlo a través del cierre del compuesto. Estas zonas cuentan con canales para proveer fricción con el material de PVC y como resultado se pueden ajustar niveles de temperatura menores en los barriles. Por esta razón se les llama canales de fricción.

### **El bloqueador de compuesto**

Su uso consiste en sellar el vacío en la zona de liberación de gases o venteo, si no existiera este sello, la bomba de vacío podría succionar aire por la entrada de la tolva. Esto podría provocar un mal vacío (aire en la tubería) y también problemas por mezcla de compuesto en la zona de venteo.

Con el propósito de asegurarse un buen funcionamiento de esta zona, los granos de PVC deben estar asentados, si no el aire simplemente fluye a través del polvo. En la mayoría de los casos esta zona está hecha de una sección pequeña del tornillo con un grado de inclinación muy pequeño, de manera que el material que se toma no se transporte demasiado rápido. La luz que hay entre los dos tornillos. La presión requerida es generada por la reducida zona de medición, en la práctica esto crea suficiente sellado.

### **La zona de venteo**

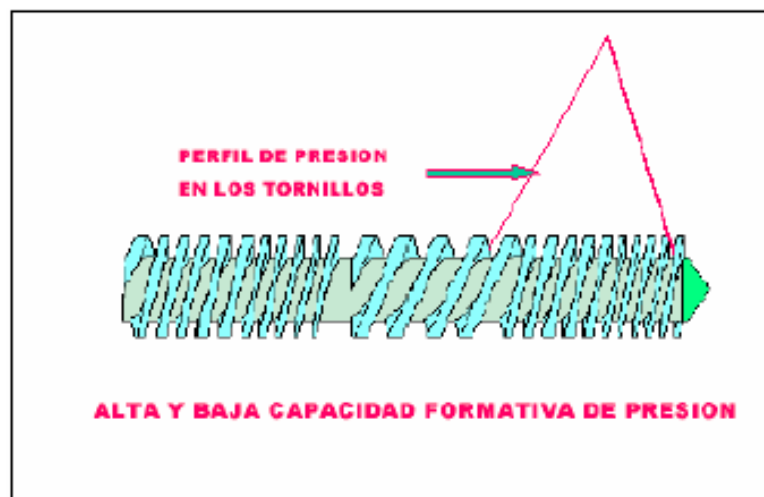
En esta zona el compuesto de PVC se libera de gases y para este propósito la inclinación de

tornillo se hace considerablemente mayor, de manera que el PVC cae en forma floja en los canales del tornillo. La razón de compresión (comparada con la zona de entrada) es aproximadamente 0.8. Por medio de una bomba de vacío el aire redundante se remueve a través de la puerta de venteo.

### **La segunda zona de compresión y de medición**

A través de la segunda zona de compresión el PVC entra a la zona de medición y en ella el material es homogeneizado y se genera la presión para que el PVC salga por el dado.

El enfriamiento del barril y del tornillo se encarga de remover el calor generado en esta área. La razón de esta remoción de calor es para permitir que el fundido se pegue al metal del barril y el tornillo, lo anterior da como resultado una buena acción de mezclado. Las medidas de la luz entre los dos tornillos y el volumen de los canales de los mismos determinan la capacidad de presión de los tornillos. Un tamaño de luz grande se encarga de que por cada cámara sea generada menos presión y al inverso. Un volumen de cámara grande (o sea baja compresión) da resultado una alta capacidad de presión. La capacidad de generar presión debe ser lo suficientemente alta para prevenir que el material fundido se vaya por la salida de venteo. Sin embargo, una presión muy alta puede provocar problemas en la rugosidad del tubo extruido, ver (Figura 1.6)



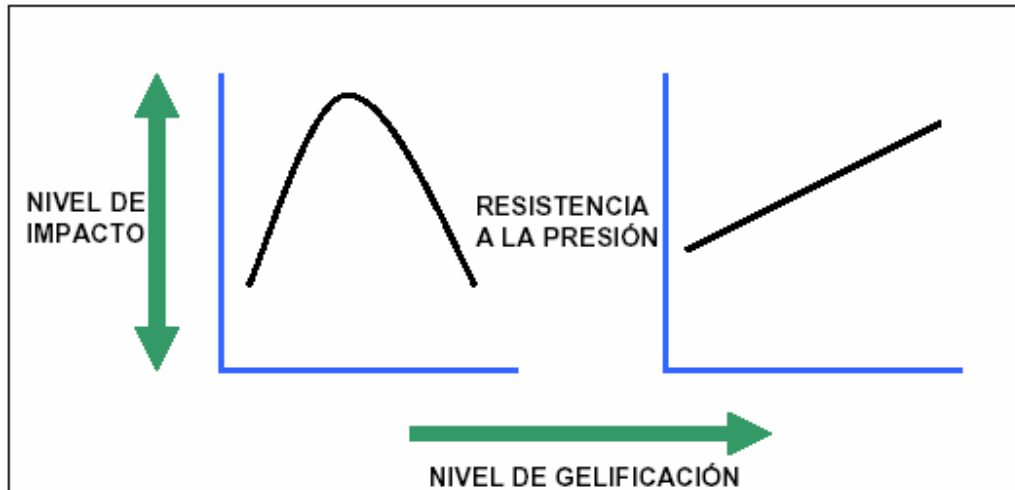
*Figura 7.6 Perfil de presión en los tornillos.*



### 7.2.2 Calentamiento del PVC (gelación)

La gelación se puede definir como el grado en el cual los granos del compuesto de PVC se funden juntos. El nivel de gelación puede variar de 0 a 100%, el punto de fusión a 210°C tiene un nivel del 100%. Durante el procesamiento en el extrusor el nivel de gelación varía incrementándolo continuamente, lo cual altera las propiedades del material. El PVC consiste de un 10% de material cristalino, en esta región cristalina las piezas de mayor tamaño de las moléculas largas de PVC se unen como un broche. Si no existiera esta unión en las moléculas de PVC, la tubería se deformaría al actuar presión sobre la misma.

Las partículas primarias dentro de los granos de PVC consisten en material bien gelado. El extrusor se encarga de crear la necesaria fricción y calentamiento para el proceso de gelación. No es necesario alcanzar un grado de gelación del 100%, un nivel 75% es el grado óptimo de gelación, ver (Figura 1.7). A este nivel el impacto del PVC es el más alto y la resistencia a la presión interna es suficiente.



*Figura 7.7. Gráficas de nivel de gelación contra nivel de impacto y resistencia a la presión.*

El grado de gelación del PVC está estrechamente relacionado con el punto de fusión, este se mide por medio de una termocupla colocada en la punta de la araña. Conforme sea más alta la

temperatura, más alto será el grado de gelación. Si se utilizan dados pequeños, una temperatura en la termocupla de 190°C será suficiente para alcanzar 75% de gelación. Si se utilizan dados más grandes, se debe alcanzar una temperatura de 85°C.

Una prueba independiente que se puede realizar para el nivel de gelación es la prueba de cloruro de Metileno (MCT). en esta prueba una pieza de tubo se bisela y se sumerge por 30 minutos en cloruro de Metileno a 60°C. La parte no gelada del PVC se verá atacada por el cloruro de metileno y muestra una superficie rugosa con apariencia blancuzca. Si el tubo no muestra ningún ataque, la gelación es buena (al menos 75%).

La gelación en el extrusor ocurre básicamente por la influencia de la fricción. El calentamiento por sí solo no es suficiente, lo anterior se ha corroborado por medio de pruebas en el pasado; por ejemplo, para gelar polvo de PVC a un 75% usando sólo calentamiento se necesitan al menos 15 minutos, pero el tiempo de resistencia en el extrusor es de solo un minuto, de tal manera que la fricción es que acelera el proceso.

Por medio de la fricción las moléculas se cortan en la cadena de región cristalina del PVC. Se forma entonces una nueva cadena y los granos del PVC se unen en uno contra el otro, de este modo la fricción se encarga del proceso de gelación del PVC.

La cantidad de fricción, y también la temperatura de fusión alcanzada se verá altamente influenciada por la cantidad de lubricantes adicionada. Conforme mayor sea la cantidad de lubricantes, menor será la fricción y en consecuencia más lenta la gelación. La geometría de los granos de PVC (también llamada morfología) es también importante en este aspecto. Sin embargo, son los lubricantes lo que determinan la velocidad de gelación del compuesto.

La temperatura final de fusión no está solamente determinada por el compuesto sino también por la geometría del tornillo y la temperatura del extrusor. Al tornillo se le pueden hacer canales extra grandes para así incrementar la fricción generada. De esta manera, por ejemplo, la temperatura de barril se puede ajustar a un nivel menor en un cierto sector. El largo del tornillo es también importante, un tornillo más largo hace que la gelación del PVC será más rápida.

Ya se han discutido los dos métodos que pueden afectar la temperatura de fusión: vía el compuesto y de la geometría del tornillo. El tercer método es cambiando el ajuste durante el proceso de extrusión. Mayormente la temperatura del barril se cambia para ser un poco más alta, o un poco más bajo. Eso siempre sucederá, pero el método es más bien insensible: si la temperatura de una de las zonas del barril es aumentada en 10°C, la temperatura de fusión se incrementa por sólo 0.5°C. Además, la velocidad del tornillo puede incrementarse a la misma potencia. Esto también eleva la temperatura al extremo, pero también tiene efectos adversos en la homogeneidad de la mezcla (la aspereza del tubo a menudo se incrementa). Lo mismo aplica a la temperatura del tornillo. Elevando la temperatura de este se eleva la temperatura al extremo, pero el ondulado del tubo se incrementa fuertemente. En general, este método podría utilizarse para extrusión de tubería corrugada.

Si fuera necesario un mayor ajuste a la temperatura de fusión, puede montarse una pieza más grande o más pequeña de restricción. Un restrictor más pequeño ofrece una presión más alta en la extrusora o causa un incremento de la fricción. Reemplazando un restrictor de 30 mm a 20 mm elevará la presión aproximadamente a 50 atmósferas y eleva la temperatura extrema de 2 a 3°C.

Resumiendo, los métodos siguientes pueden usarse para corregir la temperatura de fusión:

- El compuesto puede modificarse cambiando el tipo y cantidad de lubricantes.
- Pequeños cambios en la temperatura pueden crearse cambiando la temperatura del barril. Un cambio de 10°C en la temperatura de la sección del barril dará un cambio de 0.5°C en la temperatura de fusión.
- Un aumento de la presión de retroceso de la extrusora dará también una temperatura de fusión más alta. Esta elevación en la temperatura es aproximadamente 5°C por 100 bares de aumento de presión. Tal cambio en la presión de retroceso puede generarse montando otra pieza de restricción (aproximadamente un incremento de 50 bares de presión cuando un restrictor de 30 mm es reemplazado por uno de 20 mm).
- Incrementando la velocidad del tornillo también produce un alza en la temperatura. Aunque este truco puede causar problemas a consecuencia de la aspereza del tubo.

- Incrementar la temperatura de los tornillos causa un aumento de la temperatura extrema, pero este método también incrementa la ondulación en el tubo.

### 7.3. Identificando las partes que conforman la línea de producción.

En este tema se habla acerca de las partes que conforman la línea de producción desde la extrusora hasta el acampanador, dando una breve descripción de cada una de ellas y su función.

#### 7.3.1. La extrusora.

Es donde se lleva a cabo el proceso de plastificación del PVC la cual a su vez tiene elementos básicos los siguientes (ver figura 1.8):



*Figura 7.8. Máquina Extrusora Battenfel BEX-90.*

**a) Tolva de alimentación:** Es por donde se introduce el PVC aun en polvo, ya sea en súper-sacos o por el sistema neumático.

**b) Dosificador:** Sirve para controlar la alimentación del material hacia la extrusora y así evitar variaciones de amperaje muy fuertes.

**c) Tablero de control:** Mediante el cual se controlan los parámetros de la extrusora, temperatura del barril, temperatura del cabezal, velocidad del motor principal, velocidad del dosificador y también sirve para monitorear parámetros como: temperatura de la masa, presión de fundido, así como verificar las alarmas que se presenten durante el proceso.

**d) Cañón o Barril:** Es donde se alojan los tornillos y donde se lleva a cabo la plastificación.

**e) Tornillos o usillos:** Se encargan del transporte del material y también de acelerar el proceso de plastificación.

### 7.3.2. Cabezal

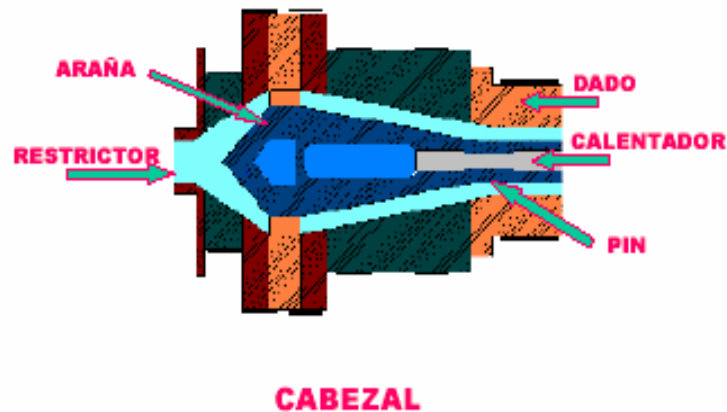
En principio, el cabezal es sólo una transición del hoyo circular (garganta) dentro del portillo anular (terreno del cubo). El cabezal es muy importante para el proceso de extrusión. La temperatura de derretido está influenciada por la presión del mismo. El reduce la ondulación y las eventuales diferencias en la temperatura de derretido. El tamaño del portillo cerca del dado determina el espesor de la pared, lo que puede producir, y la reversión de calor del tubo.

Un diseño equivocado del dado puede causar problemas de fracturas en el derretido o problemas con la calidad de la soldadura. Entonces, es aconsejable diseñar un cabezal perfecto. Pasemos a continuación a tomar este tema.

#### **Diseño general del cabezal**

La figura 7.9, muestra el diseño general del cabezal. El PVC entra al cabezal a través del restrictor. Este puede cambiarse por otro de un diámetro diferente, de manera que el regreso de la presión pueda modificarse de esta forma. Con la araña se puede conectar el interior del cono al cabezal. Las extremidades de la araña cortan el derretido en varias piezas. Estas piezas deben ser soldadas juntas de nuevo en la parte final del cabezal. La parte final del exterior del cono es movable para que un tubo excéntrico pueda ser centrado.

Por eso, puede llamarse pieza central. Las secciones calientes a menudo están montadas en esta pieza central para la concentración térmica del tubo. Además, los elementos calientes pueden mantener el cabezal a una temperatura suficientemente alta.



*Figura 7.9 Diagrama interno de un cabezal.*

La parte interior del cono más el cilindro (mandrell) frontal de la parte exterior del cono más la pieza central del dado, le dan al derretido la forma correcta para el tamaño del tubo. Para otro espesor de pared se necesita otro cilindro (mandrell) frontal. Si el diámetro cambia también, se necesitará otro cono interior o exterior. El diámetro exterior máximo del tubo que puede producirse con un cabezal es igual al diámetro interno de la araña. En este caso el cono interno tiene forma cilíndrica. Los diámetros más grandes no pueden producirse en ese diseño de cabezal porque es imposible montar el exterior del cono.

Si se requiere un diámetro más grande para el tubo, se necesita un dado y araña más grandes. Entonces, para producir diferentes tamaños de tubos se necesitan dados de diferentes dimensiones.

La parte final del cabezal es cilíndrica, a esto se le llama terreno del dado. La extrusión da forma precisa al terreno del dado. La presión que ejerce la extrusora al dado es controlada principalmente por la longitud del terreno.

Los elementos calefactores del cabezal son necesarios para traer y mantenerlos en la correcta temperatura de extrusión. Usualmente estas temperaturas se elevan desde 175°C cerca de la garganta hasta 200 - 210°C cerca del terreno del dado. Esto debe ser tan alto que le dé al tubo suficiente pulido. Por eso es llamado elemento de pulido. La precisión en el control de la temperatura no es importante: más o menos 1 o 2°C es suficiente. La única excepción es para los elementos de calentamiento en el sistema térmico.

Debido a la sensibilidad del PVC para la concentración térmica, se requiere una precisión al menos de 1°C.

Las partes diferentes del cabezal deben ser más fuertes para que resistan una presión de 600 bares (8700 psi) que es la presión normal en una estructura grande. Esta alta presión da los requerimientos de rigidez de los bordes, la cantidad y el tamaño del dado y los tamaños y número de las extremidades de la araña.

### **La resistencia del dado**

La presión que se necesita para presionar el PVC a través del cabezal se determina por la viscosidad del compuesto y la resistencia del dado. Si es posible el dado es diseñado de tal forma que la presión esté entre 400 y 500 bares para las extrusoras KMD 90 y KMD 125, etc., porque ellas extruyen bien a esta presión. Comúnmente un compuesto gelatinoso se debe a la cantidad extra de lubricante.

El perfil interno y externo del cono de PVC fluye en su llamada línea de flujo. Existe solo una regla estricta: la resistencia aumenta cuando el canal es angosto. Para limitar la resistencia del dado a un tamaño pequeño del tubo, la longitud del canal, se mantiene tan corto como sea posible. Entonces la longitud del terreno del dado para un tubo con bajo espesor de pared es a menudo muy corta.

### **Soldadura en la línea de la araña**

Las extremidades de la araña cortan el PVC en varias piezas. Cada extremidad causa un desgarre en la mezcla la cual debe soldarse nuevamente.

Debido a que el PVC es más sólido que líquido, los desgarres no desaparecen por sí mismos.

La acción de amasado del cubo hace que los desgarres desaparezcan. Esta soldadura toma lugar bajo la influencia del radio de compresión de los conos y el tiempo de mezclado con los conos. El radio de compresión es por definición el área de superficie de la sección de cruz en la araña dividida por el área de la sección de cruz del terreno del cubo. Mientras más alto el radio de compresión del cubo será mejor la acción de amasado y la calidad de soldadura, se debe dar una menor compresión a un cubo grande que a uno pequeño, porque el tiempo de estancia es más largo.

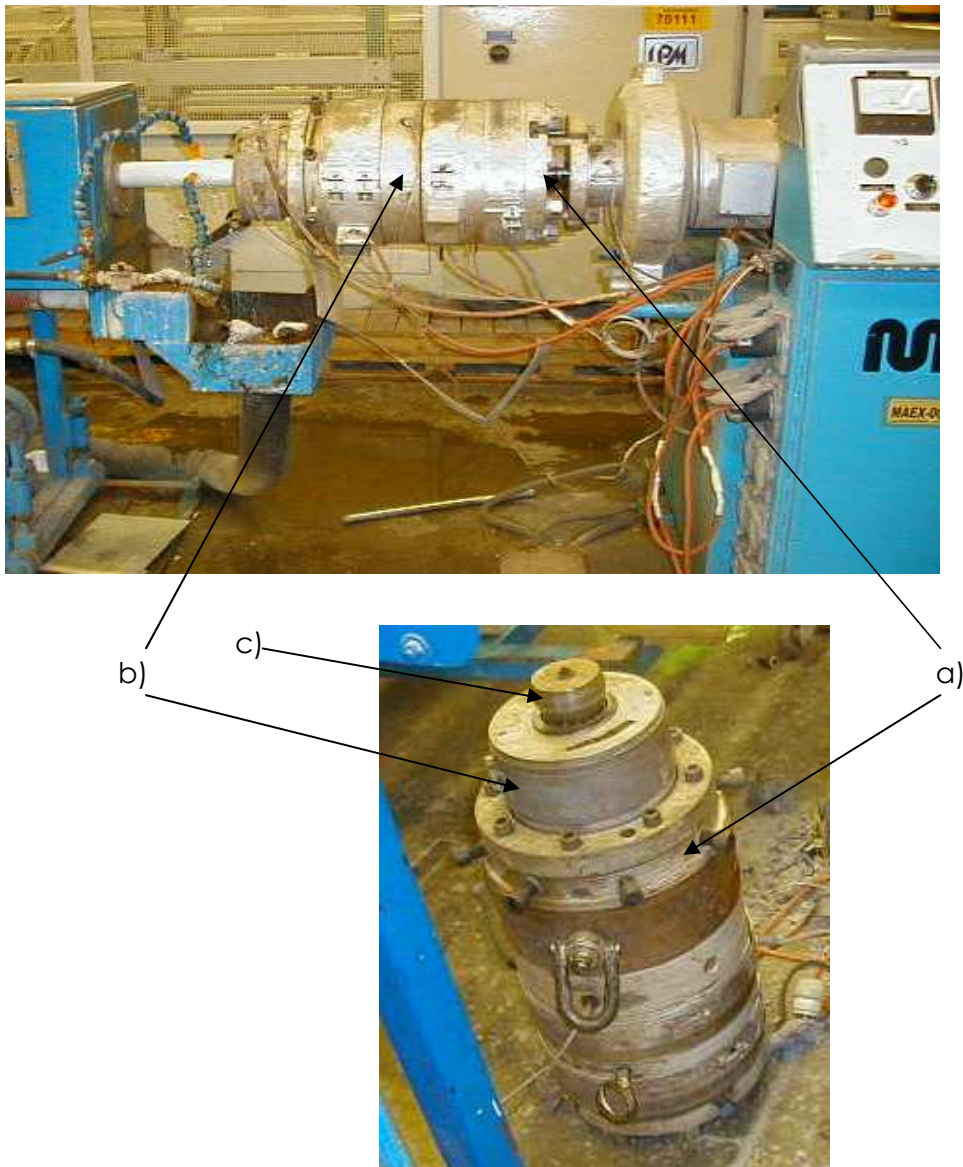
La gelación del compuesto es muy importante para la calidad de soldadura. Un compuesto gelatinoso lento siempre dará una soldadura de peor calidad que un compuesto gelatinoso rápido. Esto se debe al hecho de que haciendo uso de uno lento se emiten más lubricantes por las extremidades de la araña que son concentrados en la araña. Para obtener una soldadura de buena calidad, la cubierta de lubricante deberá ser primero lo suficientemente delgada.

Hoy en día, los cubos pueden ser alargados reemplazando la araña. La nueva araña posee extremidades que son dos veces más largas que las anteriores. El diámetro externo se ha mantenido igual pero el interno ha disminuido. El radio de compresión del cubo es dos veces más grande, lo que permite a la soldadura tener una calidad arriba de la marca.

Debido a la alta compresión obtenemos otra importante ventaja: la reducción de ondulación del cubo se mejora considerablemente. Esto resulta en un rendimiento de aproximadamente 20%.

En la figura 7.10 se observan de manera real las partes que conforman el cabezal.





*Figura 7.10 El cabezal y sus elementos.*

- a) Cabezal.
- b) Baso o dado.
- c) Cebolla, la cual permite que se estire más el tubo sin perder su diámetro.

### 7.3.3 La tina de enfriamiento y de vacío.

Es la parte de la línea de producción en la cual se lleva a cabo el enfriamiento del PVC de manera precipitada y en la cual también se le da el diámetro real al tubo y el planchado por medio de vacío.

Esta se conforma de tres elementos principales (figura 7.11):

- Formador: En el cual da el diámetro real al tubo y hace el planchado externo.
- Bomba de vacío: La cual genera un vacío dentro de la tina para no perder el diámetro o la uniformidad del tubo.
- Bomba de agua: Es por la cual se enfría el tubo ya sea con aspersores o inundando la tina.



*Figura 7.11. Tina de enfriamiento y de vacío*

#### 7.3.4. La oruga o jalador.

Es por medio de este elemento que se puede mantener una velocidad constante en el jalado o estirado del PVC para mantener el diámetro del tubo y para controlar el espesor de pared ver (figura 7.12)



*Figura. 7.12. Oruga o Jalador*

#### 7.3.5. La sierra.

Sirve para cortar y realizar el chaflán cuando sea necesario o se requiera de acuerdo al tipo de tubería (figura 7.13).



*Figura. 7.13 Sierras SICA*

### 7.3.6. El acampanador y abocinador.

Es el final del proceso en el cual se le da forma a un extremo del tubo por medio de calor, ya sea en forma de bocina o en forma de campana (ver figura 7.14) para ser acoplado por medio de cementado o de presión.



*Figura. 7.14. Acampanador y abocinador de tubería*

### 7.4. El campaneado de tubería de PVC.

#### Campaneado de tuberías con junta integrada rieber

El proceso de formación de campanas (o abocardado) RIEBER se puede dar de dos maneras, ya sea por vacío o aplicando presión externa, para lo cual se necesita una cámara de presión. También existen dos modalidades de mandriles, con collar y sin collar.

Existen diferentes tipos de juntas para tuberías de PVC.

Entre ellas se encuentran las juntas roscadas, bridadas, cementadas, con sello de hule tipo oring (juntas colapsibles) y las juntas de empaque como lo es la junta integrada RIEBER.

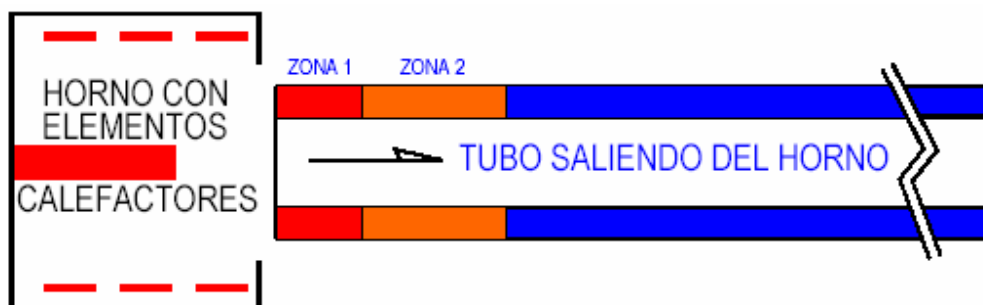
En los últimos años, la junta RIEBER se ha convertido en la junta de mayor confiabilidad y de más rápida aceptación para sistemas de tuberías de agua potable (o de presión) y alcantarillados (tipo sewer) en el mundo.

Las ventajas del sistema de junta integrada RIEBER son:

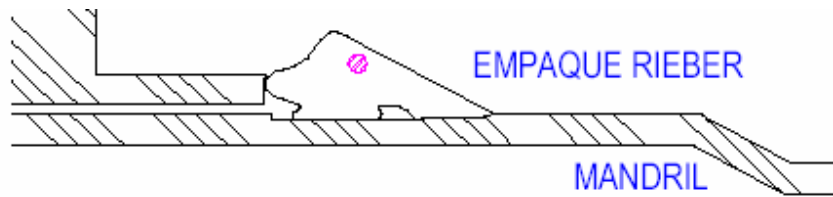
- Proceso de campaneado (o abocardado) en línea con las extrusoras, aprovechando el tiempo de producción de cada tubo y el calor interno que traen del proceso mismo.
- El empaque viene pre-instalado de fábrica, disminuyendo las posibilidades de falla en el campo por mala instalación, daño o suciedad entre el tubo y el sello.
- Las tolerancias de la junta RIEBER se dan solo en el diámetro externo de la espiga (o macho) y el diámetro interno de la campana.
- El empaque en la campana trae una pre-compresión de fábrica, garantizando un mejor sello y reduciendo la posibilidad de fugas después de instalado.
- Absorbe cualquier expansión o contracción longitudinal del tubo debida a cambios de temperatura.
- Es la más confiable del mundo.
- Puede hacerse en forma automática o semiautomática.

Un sistema típico de campaneado utiliza vacío en un mandril del tipo con collar. La descripción del proceso de campaneado con este sistema se presenta a continuación.

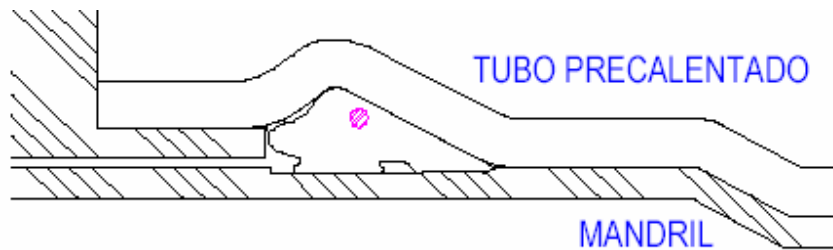
**PASO No.1.** El calentamiento del tubo se debe hacer en dos zonas distintas y la zona del extremo del tubo deberá ser la mas caliente.



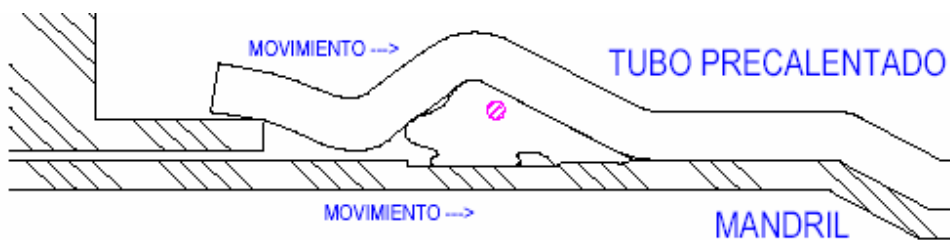
**PASO No.2.** El anillo con refuerzo se coloca sobre el mandril y su posición se logra por medio del collar del mandril.



**PASO No. 3.** La tubería precalentada desliza sobre el mandril, el empaque y el collar, siguiendo sus contornos sin dificultad.



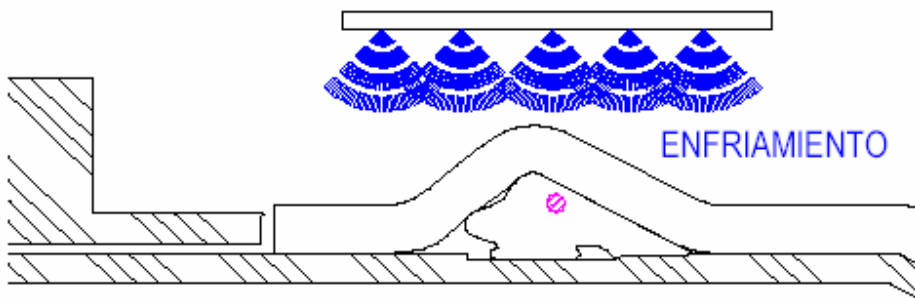
**PASO No.4.** El mandril y el tubo se alejan del collar y el extremo caliente del tubo se retrae hacia el mandril debido a las fuerzas elásticas.



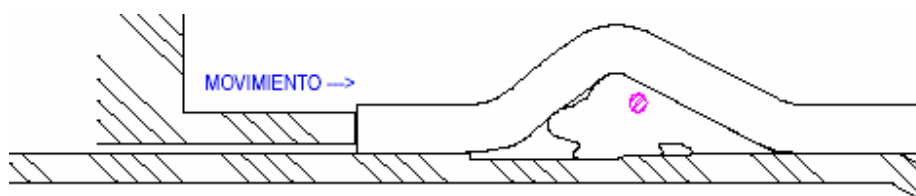
**PASO No.5.** El vacío aplicado al tubo y al empaque por ranuras en el mandril, garantizan que la formación de la campana sea uniforme.



**PASO No.6.** La tubería se enfría y termina de formar la campana sobre el empaque dejando un área de sello limpia y firme.



**PASO No.7.** La campana con el empaque alojado es retirada del mandril por medio del collar expulsor.



El proceso de campaneado RIEBER se da en línea con la extrusión de tubos y en forma automática o semiautomática. Por ser un proceso en línea, se reduce el tiempo de formación del tubo, lo que permite almacenarlo campaneado y totalmente terminado.

El calor interno que trae el tubo del proceso de extrusión es aprovechado, dando como resultado menores tiempos de calentamiento.

## CAPITULO 8

### CALANDRADO.

El calandrado es un proceso de transformación de termoplásticos para la elaboración de láminas flexibles o semirígidas de espesor reducido. Consiste en hacer pasar el material plastificado por dos o tres cilindros dispuestos por sus ejes paralelos, proporcionando una lámina cuyas características se ajustan a una serie de cilindros de calibración, enfriamiento acabado y recogida.

El proceso de calandrado se puede describir brevemente por los siguientes pasos:

#### 1. Mezclas.

Se determina el tipo de lámina que se va a producir: PET CR “A”, PET CR “GA”, PET BL o PET NG.

Se contempla el inventario de materiales molidos en almacén.

Se sacan los porcentajes de adición de materiales dependiendo de los inventarios.

#### 2. Alimentación.

Con los porcentajes ya establecidos se realiza la alimentación de los materiales en las tolvas. En la tabla 8.1 se muestran los porcentajes de materiales que se utilizan para la fabricación de diferentes productos. Estos porcentajes varían ya que como se mencionó anteriormente depende el inventario y calidad de las materias primas.

**Tabla 8.1. Porcentajes de materiales que se utilizan para la fabricación de diferentes productos**

PRODUCTO MATERIALES	PET CRISTAL A	PET CRISTAL G	PET BLANCO	PET NEGRO
PET VIRGEN G		20%		
PET VIRGEN A	20%		20%	20%
PET BTC (PET ALL)	60%	60%	50%	50%
PET MIT	19%	19%	26%	26%
PIGMENTO	1%	1%	4%	4%



Para alimentar se usan dosificadores y por medio de compuertas y tiempos se regula la caída o entrada de material en 3 tolvas (figura 8.1). El material es succionado por medio de vacío hacia el reactor.



*Figura 8.1. Tolvas de alimentación.*

### **3. Control de temperatura en el reactor (secado).**

Dependiendo el tipo de material es la temperatura a la que se debe incrementar y mantener el reactor (figura 8.2) los materiales molidos que entran se centrifugan por lapsos de una hora. La temperatura de secado para el PET A es de 160 ° C y para el PET G es de 60°C. Por medio de bombas de vacío se retira la mayor parte de humedad del material ya que dentro del proceso de fundición esta humedad provoca la producción de mas gases por lo tanto imperfecciones en la lamina llamados geles; además que se retiran las partículas finas que afectan la calidad de la lamina ya que estas se queman y en la lamina se presentan los llamados puntos negros.



*Figura 8.2. Vista del reactor.*

#### **4. Control de temperatura de fundición.**

El calandrando es un proceso de inyección de plástico por lo que dentro de este paso se encuentran los tres puntos principales de todo proceso de inyección:

- a) Alimentación: entra el material plástico deshumidificado que se va a extruír.
- b) Dosificación: se homogenizan y plastifican los materiales (aditivos, colorantes y el termoplástico) que anteriormente fueron alimentados. Dentro de este proceso se retira la humedad que pudiera quedar en el material y se retiran los gases generados por el plástico que son principalmente acetaldehídos por medio de vacío.
- c) Inyección: El material líquido es filtrado para retirar las impurezas del material sale limpio y listo para el proceso de laminado.

#### **5. Control de extrusión en laminado o calandrado.**

El plástico se inyecta por medio de dados distribuidos en paralelo a los rodillo que le darán la forma laminar. En este punto se da el calibre de la lámina en base a la apertura de los rodillos y principalmente a la velocidad lineal de estos. Para calibres delgados la velocidad es mayor que para calibres gruesos.

Los tres rodillos llevan la misma velocidad lineal y esta es controlada por el rodillo maestro (figura 8.3). Aunque se puede reducir un porcentaje de velocidad a los otros rodillos para mejorar la calidad de la lámina.



*Figura 8.3. Dado y calandrias. Los tres rodillos tienen un sistema de refrigeración por medio de agua.*

#### 6. Control de tren de laminado.

En este paso se controla el espesor de la lámina en base a 53 posiciones o medidas (figura 8.4). También se realiza la aplicación de silicones que evita que se pegue lámina con lámina y evita que se pegue en el molde cuando esta se termoforme. Se acumula la lámina en bobinas.



*Figura 8.4 Tren de laminado.*

7. Control de bobinas (producto terminado).

Se obtiene el producto terminado que son bobinas de lamina (figura 1.16) en este paso se controlan los metros lineales por bobina, se determina su peso y se etiqueta con las especificaciones requeridas por el departamento de control de calidad.



*Figura 8.5. Bobina de lámina de PET CRISTAL*

## BIBLIOGRAFÍA

1. “Moldeo por inyección”  
Anguita Delgado, Ramón.  
Editorial Blume. España. 1975.
2. “Inyección de plásticos”  
Mink Spe, Walter.  
Editorial Gustavo Gilli. México D.F. 1981
3. “Procesamiento de plásticos”  
Morton D.H. y Lancaster, Jones.  
Editorial Limusa. México D.F. 1993
4. “Transformación de plásticos”  
Savgorodny, V. K.  
Editorial Gustavo Gilli, Barcelona. 1978
5. Plastics Engineering.  
Crawford, R. J.  
Maxwell Mc Millan Internacional Editions. Republic of Singapore. 1989.
6. Diseño de moldes para la inyección de termoplásticos  
Mateo M. Oscar  
FES-Cuautitlán .Tesis profesional. 1997
7. Moldes y máquinas de la inyección para la transformación de plásticos  
Bodini, Gianni y Cacchi P. Franco  
Mc. Graw Hill. México. 1993.

8. Dibujo y Diseño de Ingeniería.

Jensen, Cecil.

Editorial Mc Graw Hill, México 2002

9. Jefa del almacén de materia prima en la empresa XITO S.A. de C.V

Fuentes C. Mayra

FES-Cuautitlán, Trabajo Profesional. 2012.