



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

TRANSFORMACION DEL TEREFTALATO DE
POLIETILENO EN ENVASES PARA BEBIDAS
CARBONATADAS MEDIANTE EL PROCESO
DE DOS ETAPAS

293714

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA MECANICA ELECTRICISTA

P R E S E N T A:

CLAUDIA TORRES TAVERA

ASESOR: M.I. FELIPE DIAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
 FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES - CUAUTITLAN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DEPARTAMENTO DE
 EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen Garcia Mijares
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Transformación del tereftalato de polietileno en botellas para
bebidas carbonatadas mediante el proceso de dos etapas"

que presenta la pasante: Claudia Torres Tavera
 con número de cuenta: 9561789-9 para obtener el título de
Ingeniera Mecánica Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcali, Méx. a 20 de Febrero de 2001

PRESIDENTE Ing. Enrique Cortéz González [Firma]

VOCAL Ing. Jesús García Lira [Firma]

SECRETARIO M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez [Firma]

PRIMER SUPLENTE Ing. Sergio Durán Guerrero [Firma]

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Eusebio Reyes Carranza [Firma]

Aquí culmina nuestra carrera, juntos la iniciamos y ahora finaliza para dar lugar a una nueva etapa de nuestra vida.

Ustedes forman parte de ella y han estado presentes en algún momento de esta trayectoria, brindándome su amistad, su apoyo, sus conocimientos y su confianza.

A mis mejores maestros: Papá, Mamá y Ali

A José

A mi familia

A mis amigos y compañeros

A mis profesores

Gracias.

Contenido

CAPÍTULO 1

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL PET

1.1	GENERALIDADES	2
1.2	COMPONENTES : MATERIA PRIMA	3
1.3	OBTENCIÓN	6
1.3.1	PROCESO DE ESTERIFICACIÓN DEL PTA	8
1.3.2	PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN DE DMT	10
1.4	ACETALDEHÍDO	11
1.5	FÍSICA DEL POLÍMERO	12
1.5.1	MORFOLOGÍA	13
1.5.2	PET AMORFO ORIENTADO	16
1.5.3	PET CRISTALINO ORIENTADO	17
1.5.4	CRISTALIZACIÓN DEL PET	18
1.6	PROPIEDADES	19
1.6.1	DENSIDAD	20
1.6.2	PROPIEDADES MECÁNICAS	20
1.6.3	APARIENCIA FÍSICA	21
1.6.4	PERMEABILIDAD	21
1.6.5	PROPIEDADES TÉRMICAS	24
1.6.6	RESISTENCIA QUÍMICA	24
1.6.7	DEGRADACIÓN DEL PET	25
1.6.8	FACTORES AMBIENTALES	26
1.6.9	CONTENEDORES DE CAPAS MÚLTIPLES	27

CAPÍTULO 2

PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DEL PET

2.1	TIPOS DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN	29
2.2	PROCESO DE UNA ETAPA	29
2.2.1	MOLDEO POR INYECCIÓN - SOPLADO CON ESTIRAMIENTO	29
2.2.2	MOLDEO POR INYECCIÓN - SOPLADO SIN ESTIRAMIENTO	32
2.3	PROCESO DE DOS ETAPAS	33
2.3.1	MOLDEO POR INYECCIÓN - SOPLADO CON RECALENTAMIENTO Y ESTIRAMIENTO	34
2.4	MOLDEO POR EXTRUSIÓN - SOPLADO	37
2.5	VENTAJAS DE MANUFACTURA	38

CAPÍTULO 3

PROCESO DE DOS ETAPAS

3.1	SECADO DEL PET.	41
3.1.1.	PROCESO DE SECADO DE RESINA MEDIANTE AIRE.	42
3.1.2.	DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL SECADOR.	46
3.1.3.	PARÁMETROS DE SECADO.	52
3.2	INYECCIÓN DE LA PREFORMA	55
3.2.1.	DEFINICIÓN DE LA PREFORMA	56
3.2.2.	PROCESO DE INYECCIÓN	58
3.2.3.	DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA INYECTORA	77
	Unidad de Cierre	78
	Unidad de Inyección	82
	Diseño del husillo y definiciones	87
	Unidad de Fuerza	88
	Unidad del Robot	92
3.2.4.	EFFECTOS DEL ACETALDEHÍDO	95

3.3	SOPLADO DE LA BOTELLA	98
3.3.1.	PROCESO DE SOPLADO	98
3.3.2.	DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA	107
	Alimentación de las preformas	108
	Horno lineal infrarojo	110
	Conjunto de las transferencias	119
	Rueda de soplado	123
	Puesto de soplado	124
	Circuitos de aire	135
	Circuito de agua	136
	CONCLUSIONES	138
	BIBLIOGRAFÍA	140

CAPÍTULO 1



CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL PET

1.1 GENERALIDADES

Los poliésteres son polímeros que contienen eslabones éster en su estructura molecular, dependiendo de su composición química pueden ser termoplásticos o termofijos. Actualmente el poliéster termoplástico más común es el tereftalato de polietileno (PET).

El PET es un plástico en forma de gránulos que se caracteriza por sus propiedades de resistencia mecánica, transparencia, barrera a gases, relación de costo, desempeño y a las diversas maneras en que se puede procesar. Se utiliza para fabricar envases para bebidas carbonatadas, envases varios (mayonesas, salsas, etc), películas transparentes, cintas de video y audio, fibras textiles, laminados de barreras, bandejas para microondas y películas radiográficas. Su uso general se enfoca al empaque y embalaje, aunque se tienen ciertas aplicaciones para productos de alto requerimiento mecánico y térmico con refuerzos ó cargas de minerales o derivados del vidrio.

El PET presenta mejor barrera al oxígeno y al CO₂ que la mayoría de los otros plásticos, además, la barrera al CO₂ se mejora cuando el PET es biaxialmente orientado, abriendo el mercado para bebidas carbonatadas y sustituyendo con ventajas al vidrio.

El PET fue descubierto durante la Segunda Guerra Mundial por el químico norteamericano Wallace Hume Carothers, cuando trabajaba para la empresa Du Pont.

J. R. Whinfield y J.T. Dickson desarrollaron en Inglaterra los primeros poliésteres saturados a partir de ácidos aromáticos. La primera aplicación fue la fibra textil, que reemplazó al algodón y al lino.

Alrededor de 1973, la industria del plástico buscaba desarrollar un material plástico, irrompible, ligero y transparente para producir botellas para bebidas

carbonatadas y fue el PET el que resultó ser el más adecuado. Nathaniel Wyeth fue el pionero en la fabricación de botellas de PET.

En 1984 se desarrollaron además de las botellas, envases de boca ancha como tarros y frascos para el mercado de conservas alimenticias, alimentos en polvo, pastas y mieles.

Actualmente el PET en sus diferentes variantes ha demostrado ser un material ideal para el sector del envase, sin embargo su resistencia térmica está limitada, por lo que se han desarrollado diferentes sistemas de transformación para modificar las características estructurales del polímero permitiendo su uso en envases para llenado en caliente.

En México el PET es producido por cinco empresas, que alcanzan una capacidad anual instalada de 400,000 toneladas:

- KOSA (Arteba Specialities, S.A. de C.V.)
- EASTMAN CHEMICAL MEXICANA S.A. DE C.V.
- SHELL MEXICO, S.A. DE C.V.
- KIMEX, S.A. DE C.V.
- ACRYLSA, S.A.

1.2 COMPONENTES : MATERIA PRIMA

Para fabricar el PET se parte del etilen glicol (EG) y ya sea el ácido tereftalítico puro (PTA) o el tereftalato de dimetilo (DMT).

Para obtener PTA, el p-xileno se convierte en PTA crudo mediante la oxidación de aire inducida por bromo. El PTA crudo se somete a hidrogenación para cambiar las características de solubilidad de algunas impurezas y luego se cristaliza del agua a alta presión y alta temperatura (Figura 1.1).

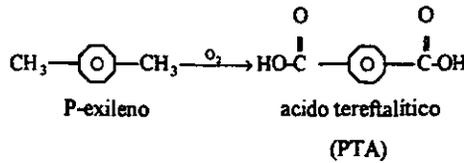


Figura 1.1 Obtención del PTA

El PTA es un material cristalino con una distribución controlada del tamaño de partículas, se presenta como cristales o polvo blanco, es insoluble al agua, cloroformo, éter y ácido acético, ligeramente soluble en alcohol y soluble en álcalis, es poco tóxico y combustible. Sublima a temperaturas comprendidas entre 300 y 425°C.

El tereftalato de dimetilo (DMT) se obtiene oxidando p-xileno para obtener un PTA crudo que se convierte en éster con metanol y luego se purifica por destilación.

El etilen glicol (EG) se produce a partir del etileno, un producto petroquímico proveniente ya sea de fracciones ligeras de petróleo o de gas natural. La conversión del etileno a EG se puede lograr de diversas maneras, sin embargo la única ruta importante para su uso comercial es mediante el óxido de etileno (Figura 1.2).

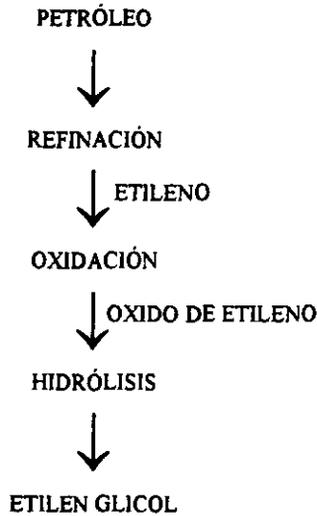
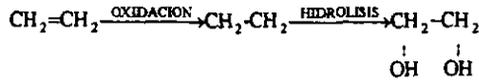


Figura 1.2 Obtención del EG

El EG es un líquido transparente con alto punto de ebullición (198°C), incoloro, inodoro, de sabor dulce, higroscópico, relativamente no volátil y tóxico por ingestión. Es soluble en agua, alcohol y éter. Entre sus propiedades se encuentra que reduce el punto de congelación del agua, por lo que es el componente principal de los anticongelantes.

De acuerdo a sus componentes, el PET se puede clasificar como se indica en la Figura 1.3.

Los homopolimeros están hechos a partir de PTA y EG solamente, son el resultado de la polimerización del éster tereftalítico formado al reaccionar Acido Tereftalítico y un Glicol. Se caracterizan por su rápida cristalización y una relación natural del estiramiento moderada.

Los copolímeros están formados por PTA, EG y un segundo glicol o ácido. Se cristalizan lentamente, lo cual es una ventaja en el proceso y además posee una mayor relación de estiramiento que los homopolímeros. La copolimerización del PET con otros glicoles (PETG) permite incrementar el peso molecular del material, presentando mejor resistencia en estado fundido por lo que puede ser moldeado en equipos de extrusión-soplo.

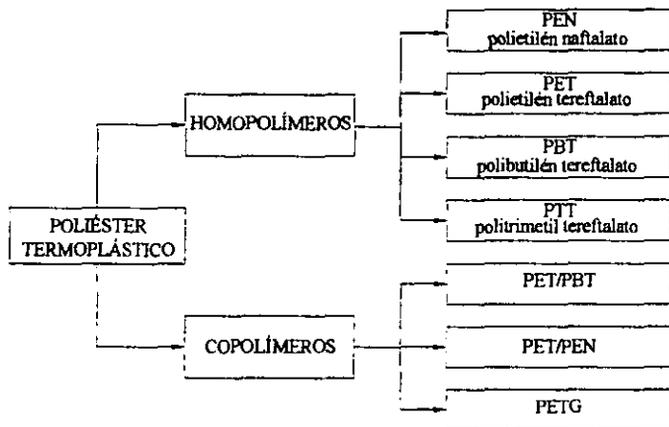


Figura 1.3 Clasificación de los polímeros.

1.3 OBTENCIÓN

Los poliésteres termoplásticos son polímeros de cadena larga. Durante su proceso para fabricar los envases, estas largas cadenas se orientan para lograr características de resistencia mecánica y transparencia. El tipo de polimerización para producir poliésteres es la policondensación, la cual se efectúa principalmente en estado líquido. El grado de policondensación obtenido es limitado, obteniéndose productos de baja viscosidad.

En la producción de polímeros de cadenas muy largas, la sustancia fundida sería tan viscosa que en estado líquido se necesitarían fuerzas extremadamente grandes en el reactor final y no fluiría satisfactoriamente. Además, se requerirían temperaturas

superiores al punto de fusión provocando reacciones de descomposición térmica y como consecuencia disminución de peso molecular y producción de sustancias secundarias.

Para uso textil es suficiente lograr pesos moleculares de 16,000 g/mol, para la fabricación de envases como botellas y lámina para termoformado, se requiere elevar el peso molecular a 23,000 g/mol para incrementar la resistencia mecánica y facilitar el moldeo. Con pesos moleculares de más de 30,000 g/mol, el poliéster se usa para la fabricación de hilos industriales utilizados para la fabricación de neumáticos.

El PET se obtiene mediante el proceso de policondensación, existen dos métodos para obtener el PET y dependen de los componentes que se utilizan. El primer método se conoce como esterificación del PTA y el segundo como transesterificación del DMT, existen tenues diferencias entre las dos rutas, pero son importantes en el proceso del polímero y en el desempeño del producto final. Estas diferencias son:

1. Estabilidad térmica o formación de color.
2. Índices de cristalización.
3. Propiedades ópticas.

Como el PET se fabrica sin la utilización de solventes, las reacciones químicas de formación de ésteres empleadas en estos procesos son reacciones de equilibrio. El polímero de alto peso molecular se obtiene extrayendo los subproductos mediante condiciones de alta temperatura y vacío.

El PET por su baja velocidad de cristalización, en función del tipo y las condiciones de operación en la transformación, puede presentarse en estado amorfo (A-PET), cristalino (C-PET) o semi-cristalino.

Los diferentes grados de PET se diferencian por su peso molecular y por su cristalinidad. Los que presentan menor peso molecular se denominan grado fibra, los de peso molecular medio, grado película y los de mayor peso molecular, grado ingeniería. En la fabricación de la gama de polímeros de PET, se emplea la misma tecnología para sus equivalentes en forma de fibra, película, botella y grado ingeniería.

En lo referente al PET utilizado para fabricación de envases, los granos solidificados tienen tres factores que limitan su aceptación en la industria y como consecuencia se somete a un proceso final en la fase de fabricación, dichos factores son:

- Amorfo
- Posee alto contenido de acetaldehído
- Tiene bajo peso molecular

Este proceso final se conoce como polimerización sólida o de fase sólida, y se explica en el siguiente apartado. La polimerización sólida mejora simultáneamente las tres propiedades anteriormente mencionadas, lo cual se traduce como una mayor facilidad y eficiencia en el proceso de transformación del PET.

1.3.1 PROCESO DE ESTERIFICACIÓN DEL PTA

Cuando se utiliza ácido tereftálico (PTA) para producir PET, la primera etapa del proceso se conoce como fase en fundido y consiste en la esterificación del PTA con etilenglicol (EG). Aunque la relación de EG a PTA en el polímero final es esencialmente 1:1, se agrega un pequeño excedente de EG en los reactores para contrarrestar posibles pérdidas ocasionadas por la volatilidad del EG. El agua y la reacción en exceso de EG se extraen del reactor mediante destilación al vacío (Figura 1.4).

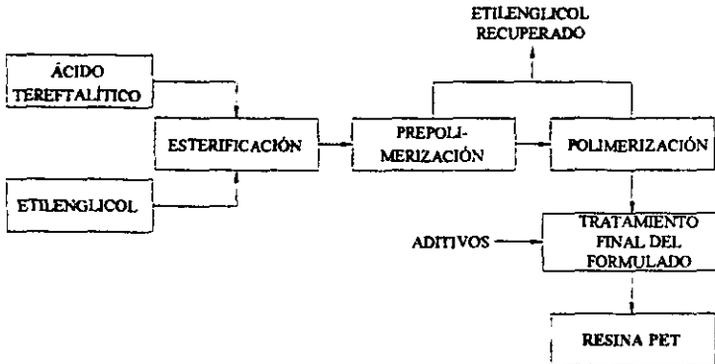


Figura 1.4 Obtención del PET a partir del ácido tereftalítico y etilenglicol

Una vez que se tiene la longitud de la cadena deseada, el PET fundido se solidifica. Esto puede efectuarse a través de una extrusora con dado de orificios múltiples para obtener una tira que se enfría en agua y una vez semisólido es cortado en un pelletizador y se obtienen pellets transparentes (granulado), con una viscosidad intrínseca de aproximadamente 0.63 (Figura 1.5).

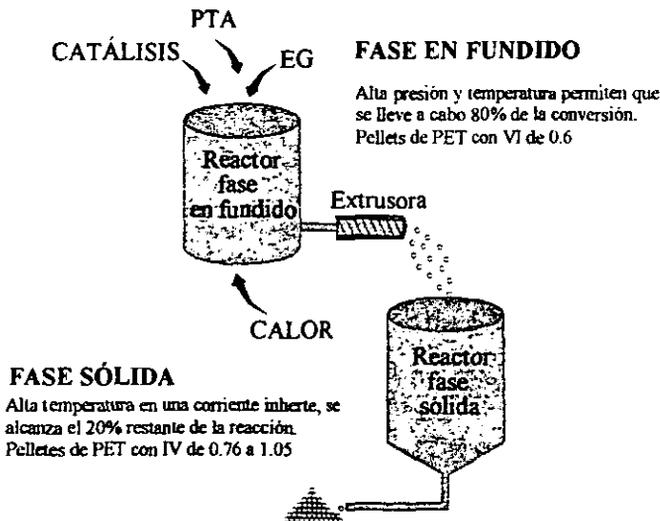


Figura 1.5 Fases de la obtención del PET

Para producir polímeros de alto peso molecular, se deben eliminar los subproductos. De lo contrario, si a un polímero fundido se le agregan subproductos, como agua o EG, el peso molecular disminuye.

La primera etapa del proceso PTA no requiere catalizador, ya que la acidez del PTA es adecuada para producir la reacción. El resto del proceso PTA por lo regular se cataliza mediante bajos niveles de antimonio, el cual no se puede extraer del polímero.

La segunda etapa se conoce como fase sólida y consiste en calentar el granulado en una corriente de N_2 , lo que ocasiona que las cadenas del polímero reaccionen entre sí aumentando la viscosidad intrínseca. Durante esta fase, los pellets se cristalizan y se tornan opacos, obteniéndose finalmente un granulado cilíndrico, paralelepípedo o cúbico con un volumen de 30 a 40 mm^3 por una densidad aparente de 0.80 a 0.90 kg/dm^3 , mejor conocido como resina PET o simplemente PET.

1.3.2 PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN DE DMT

Al utilizar DMT para producir PET, la primera etapa del proceso consta de una reacción del DMT con el EG para producir bis(hidroxietilo)tereftalato y metanol. Ya que esta es una reacción de equilibrio, se termina destilando el Metanol para extraerlo del reactor.

Una vez completada la reacción inicial, la química es similar a la empleada para el PTA, con la destilación del subproducto EG para formar un polímero de alto peso molecular.

La primera etapa del DMT requiere un catalizador, el más común son las sales de manganeso. Una vez completada la primera etapa se agrega un compuesto fosforoso para desactivar el catalizador. Esto es necesario porque si no se desactiva el manganeso, el

polimero tienen menos estabilidad térmica. Finalmente el resto del proceso de polimerización requiere un segundo catalizador, por lo regular antimonio, titanio o germanio.

1.4 ACETALDEHÍDO

El acetaldehído (AA) presente en bajos niveles es un subproducto tanto de la polimerización como del proceso del PET, sin embargo, si está presente en cantidades excesivas puede influir en el sabor de algunos productos, de ahí su importancia.

El acetaldehído es incoloro y presenta un olor a frutas, debido a su bajo punto de ebullición (20.8°C) el AA por lo regular se presenta en estado gaseoso. Aunque es una sustancia de ocurrencia natural en muchos alimentos y bebidas, no representa un problema con las resinas que son procesadas de manera correcta durante la fabricación del producto final.

El AA está presente en niveles muy bajos (1 a 3 ppm) en la mayoría de los polímeros PET para envases. El secado reduce el nivel de AA aún más, pero el moldeo por inyección aumenta el nivel de AA aproximadamente a 8 ppm.

La mayor parte del AA se forma durante el procesamiento del producto final. Adicionalmente durante la polimerización, el AA se extrae por medio de vacío o purga con nitrógeno, sin embargo es importante notar que el catalizador que se utiliza durante el proceso de obtención del PET contribuye a la formación de AA, por lo tanto mayores niveles de catalizador ocasionarán mayores niveles de AA. Esto contrasta con el moldeo por inyección, donde el AA se retiene con el polímero. Por lo tanto, las condiciones de procesamiento bajo las cuales se hacen los productos fabricados son críticas para obtener bajos niveles de AA.

1.5 FÍSICA DEL POLÍMERO

El PET es extremadamente versátil por los diversos estados de disposición molecular que se pueden lograr por medio del procesamiento. Básicamente el polímero tiene una estructura molecular lineal y puede existir en estado amorfo o semicristalino. El estado amorfo se caracteriza por la ausencia del orden tridimensional presente en los polímeros cristalinos. Sin embargo, aún en estado amorfo, las moléculas pueden ser altamente ordenadas. Las moléculas del polímero tanto amorfo como cristalino se pueden orientar uniaxialmente o biaxialmente. La combinación de estos modos de orientación resulta en una amplia variedad de propiedades físicas, permitiendo que el polímero se pueda adaptar a muchas aplicaciones prácticas.

La disposición molecular esta influenciada por los siguientes parámetros:

- Viscosidad intrínseca (VI)
- Temperatura de fusión (T_m)
- Temperatura de transición vítrea (T_g)
- Parámetros de proceso (como el historial térmico y de esfuerzos)

A continuación se explicarán estos los parámetros:

Viscosidad Intrínseca (VI)

La viscosidad intrínseca es la medida del tamaño del polímero y es directamente proporcional al peso molecular, se mide en dl/g. Es el parámetro de caracterización más importante para los poliésteres. Existen dos métodos para medirla:

- Solución (método directo): en este método se prepara una solución de PET en una mezcla 60/40 de fenol/tetracloroetano, se mide el tiempo que le toma a la solución pasar por un capilar y se compara con el tiempo que le toma al solvente puro. Los resultados pueden variar mucho si el procedimiento no está bien controlado.

- Técnica de soplado libre (método indirecto): se basa en la relación natural de estiramiento del PET. Se calienta una preforma a una temperatura constante y se sopla sin el uso de un molde, se mide el volúmen de la preforma soplada el cual es inversamente proporcional a la VI. Este método es consistente y seguro.

Al procesar el PET siempre hay una disminución en el peso molecular. En general las mejores técnicas de procesamiento resultan en una disminución de la VI de 0.06 para un polímero con una VI de 0.625 y aproximadamente de 0.11 a 0.17 para un polímero con una VI de 1.04.

Temperatura de transición vítrea (T_g)

Se define como la temperatura arriba de la cual la movilidad de la cadena del polímero amorfo es significativa, es decir la temperatura a la cual el plástico o resina inicia un cambio de estado, pasando de estado sólido a un estado intermedio viscoso. El nombre de vítrea corresponde a la comparación con el vidrio, el cual es duro y frecuentemente transparente.

Temperatura de fusión (T_m)

La temperatura de fusión de los polímeros cristalinos es de 255 a 260°C.

1.5.1 MORFOLOGÍA

De acuerdo a su forma, el PET se puede clasificar en amorfo (A-PET) y cristalino (C-PET), en la industria se conoce mejor a estos materiales por su grado según su aplicación. El grado está en función del peso molecular y en consecuencia de la VI (Figura 1.6).

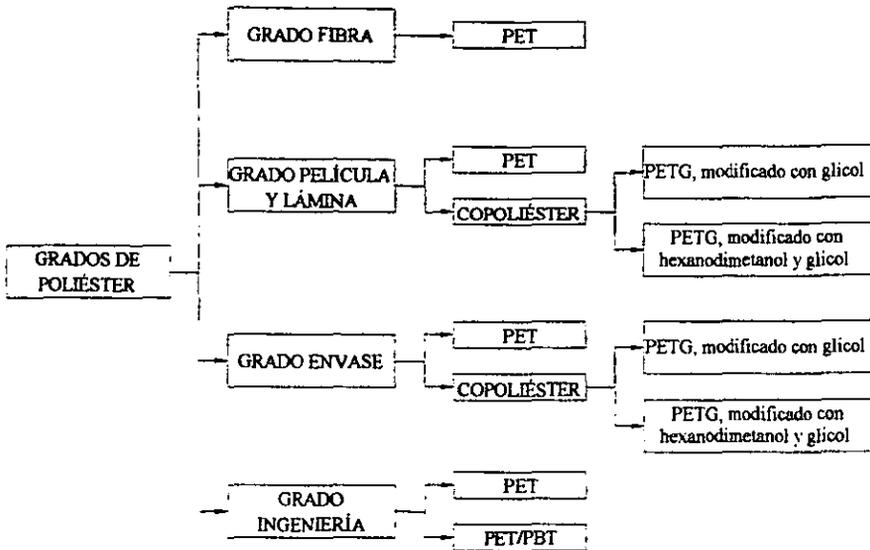


Figura 1.6 Grados del políester

Los polímeros amorfos son materiales transparentes, no pueden formar estructuras cristalinas y sus moléculas poseen el más bajo estado energético cuando se hayan en disposición aleatoria (Figura 1.7). Hasta 70°C el grado amorfo es estable, arriba de esta temperatura, el material cambia lentamente a la versión cristalina. Presenta baja viscosidad en estado fundido, por lo que solamente se moldea en equipos especiales.

Los polímeros cristalinos son normalmente opacos, presentan una mayor viscosidad en estado fundido, por lo que es más fácil su transformación mediante procesos convencionales como el de inyección-soplo biorientado. Aunque el PET puede cristalizar en gran medida, presenta un rango limitado de temperatura sobre la cual la cristalización puede ocurrir.

AMORFO



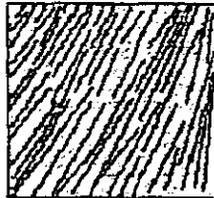
- Moléculas en desorden
- Apariencia clara
- Resistencia a la tensión moderada
- Alta resistencia al impacto
- Alta plasticidad
- Estabilidad térmica moderada
- Moléculas muy separadas
- Densidad = 1.33 g/cm³

CRISTALINO



- Apariencia: blanco opaco
- Resistencia a la tensión moderada
- Baja resistencia al impacto
- Baja plasticidad
- Alta estabilidad térmica
- Moléculas próximas
- Densidad = 1.40 g/cm³

ORIENTADO



- Apariencia: clara
- Alta resistencia a la tensión
- Alta resistencia al impacto
- Baja plasticidad
- Baja estabilidad térmica
- Moléculas próximas
- Densidad = 1.36 g/cm³

Figura 1.7 Morfología del PET

La cristalización se puede inducir por temperatura o por una biorientación (estiramiento y orientación). La cristalización inducida mejora las propiedades mecánicas y de barrera cuando se compara al material con su contraparte amorfa.

Para preparar PET amorfo el polímero se debe calentar sobre el punto de fusión (260°C, 500°F), luego se debe mantener a dicha temperatura durante suficiente tiempo para que todos los cristales residuales se fundan. Posteriormente se requiere un enfriamiento rápido para que la sustancia alcance una temperatura inferior a la de transición vítrea, T_g (73°C, 163°F). Si la temperatura de la sustancia es superior a la de T_g, la movilidad de los segmentos de la cadena molecular aumenta substancialmente, esto

resulta en un cambio repentino de las propiedades tales como volumen específico, calor específico, módulos e índice de refracción.

1.5.2 PET AMORFO ORIENTADO

En aplicaciones como el proceso de moldeo por soplado con estiramiento para la fabricación de envases, el objetivo es un producto de alta transparencia y orientación. Esta meta se puede alcanzar a través de un escrupuloso diseño de polímeros y parámetros de procesamiento. La orientación de un producto con alta transparencia resulta del alargamiento de una preforma amorfa que dará una muestra parcialmente cristalina. El producto de alta transparencia tendrá regiones tanto amofas como cristalinas y ambas estarán altamente orientadas.

Antes de la orientación molecular, el polímero está en estado amorfo y se puede visualizar como un grupo de cadenas enredadas. Cuando se aplica una deformación al polímero, las cadenas tienden a alinearse en dirección de la deformación (Figura 1.8). Por lo regular, la orientación se realiza sobre la T_g , cuando el polímero está en estado termoelástico (espumoso). El grado de orientación depende del historial térmico, de la temperatura y del índice de deformación. Si la deformación es demasiado lenta o si la temperatura es extremadamente alta, los segmentos de la cadena del polímero se mueven rápidamente y se relajan produciendo orientación escasa o ineficaz.

Bajo condiciones ideales cuando el polímero se somete a deformación, la reordenación molecular ocasiona que las cadenas del polímero asuman una orientación de cadena a cadena en una formación plana.

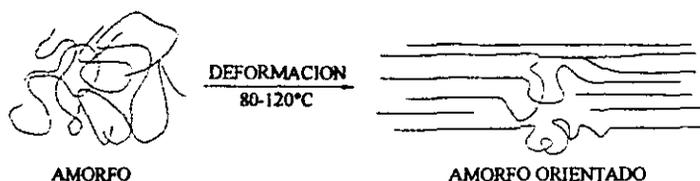


Figura 1.8 Efecto de la deformación en la orientación molecular del PET amorfo

La temperatura del primer estiramiento (orientación direccional) por lo regular se selecciona en un rango de 80 a 100°C (176 a 212°F) dependiendo del peso molecular. Mayores temperaturas de estiramiento resultan en una orientación substancialmente inferior. Menores temperaturas requieren fuerzas de estiramiento mucho mayores y resultan en una orientación mucho menos uniforme .

Comparado con el PET cristalino no orientado, los materiales amorfos orientados son más resistentes en la dirección de orientación pero tienen menor temperatura de servicio.

La orientación inducida por defomación por lo regular imparte cierto orden tridimensional o cristalinidad. Debido a la diferencia en los índices de refracción entre polímeros cristalinos y amorfos, esto puede resultar en un empañamiento en la muestra. No obstante si los segmentos cristalinos son suficientemente pequeños, la transparencia se mantiene. Como resultado, los polímeros amorfos estirados dentro de un rango de 80 a 120°C contendrán regiones amorfas, amorfas orientadas y cristalinas.

1.5.3 PET CRISTALINO ORIENTADO

La temperatura de servicio del PET orientado se puede mejorar con el proceso de penetración de calor. Este proceso resulta en mayor orientación cristalina sin ocasionar

empañamiento, además la penetración de calor puede producir mejoras en las propiedades de expansión de un envase.

Los polímeros cristalinos orientados tienen propiedades distintas a las de los polímeros amorfos. Aunque las propiedades de muestras individuales dependen del grado de cristalinidad, los materiales cristalinos orientados por lo regular tienen mayor resistencia y menor elongación que los materiales amorfos. También se pueden utilizar a temperaturas de servicio más elevadas. Los polímeros amorfos orientados tienen menor resistencia y mayor elongación.

1.5.4 CRISTALIZACIÓN DEL PET

La cristalización tiene un papel importante en las propiedades físicas y transparencia de los contenedores y películas de PET. El control de la cristalización durante el procesamiento final del PET es muy importante para obtener el tipo y nivel de cristalinidad deseados. La versatilidad del PET no solo proviene de este control de morfología de cristalización sino del índice y tiempo en que ocurre.

El grado de cristalinidad, el tamaño de los cristalitas y la densidad amorfa determinan la transparencia u opacidad del producto. El tamaño de los cristalitas, también conocidos como fibrillas debido al crecimiento direccional semejante a las fibras, determina el grado de dispersión de luz. Lo más conveniente es tener fibrillas relativamente pequeñas, sin embargo los agregados de fibrillas pueden formar estructuras cristalinas llamadas esférulas. Estas son mucho más grandes y por lo regular dispersan la luz, resultando en materiales opacos o por lo menos en una reducción de transparencia.

Un polímero jamás alcanza el 100 por ciento de cristalinidad. Si se calienta durante periodos largos a temperaturas superiores a la T_g , el PET alcanzará un grado de pseudoequilibrio de cristalinidad. Cuando la cristalinidad es un factor clave de la

resistencia, como en las aplicaciones para moldeo y fibras, el grado de cristalinidad por lo regular está en un rango de 20 a 40%. En botellas, el grado de cristalinidad se encuentra en un rango de 5 a 35%.

En la producción de contenedores PET con distintas propiedades es muy importante controlar el índice de cristalización, que depende de varios factores, incluyendo la temperatura y el peso molecular. En general, cuanto mayor es el peso molecular menor es el índice de cristalización. Este es el resultado de una mayor viscosidad que afecta tanto la movilidad de la cadena como la velocidad del transporte de un segmento cristalizador a través de la interface del cristal líquido.

Cuando se desee, el índice de cristalización del PET se puede aumentar utilizando catalizadores, que pueden servir como agentes nucleantes. Compuestos tales como talco, grafito, óxido de magnesio, benzoato de calcio, estereato de sodio y zinc, y otras sales del Grupo II de la Tabla Periódica, son agentes nucleantes efectivos para el PET. Los beneficios de los agentes formadores de núcleo son cristales y esférulas más pequeñas, resultando en mayor resistencia al impacto y cristalización más rápida, lo que produce ciclos de moldeo más rápidos y temperaturas de moldeo más bajas.

1.6 PROPIEDADES

En particular el PET es un material muy sensible a la hidrólisis a elevadas temperaturas, de manera que los pellets deben secarse antes de su procesamiento.

El PET se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad. Cuando se orienta presenta excelentes propiedades de transparencia y calidad, buena estabilidad dimensional, buena barrera a gases, temperatura de servicio máxima de 75°C, buena resistencia química y aceptación de la FDA (Food and Drugs Administration). Los

fabricantes cuentan con diferentes grados de polímeros con un amplio rango de propiedades.

1.6.1 DENSIDAD

La densidad es la cantidad de masa dentro de un volumen específico medida en g/cm^3 , se puede utilizar para medir la cristalinidad del polímero. Esta es una propiedad importante, porque muchas de las propiedades físicas como resistencia, desviación del calor, impacto, barrera, etc, dependen de la cristalinidad.

El PET amorfo tiene una densidad de 1.33 g/cm^3 y el PET cristalino de 1.38 g/cm^3 . La densidad varía como producto terminado en un promedio de 1.35 g/cm^3 dependiendo del nivel de biorientación.

Con el PET, utilizando menos cantidad de material puede producirse un envase del mismo volumen que uno de vidrio. En términos de protección ambiental esta es una ventaja muy importante debido al menor consumo de energía que se requiere para la transformación del PET e inclusive se ahorra en el costo de combustible para la transportación, tanto de los envases vacíos como llenos.

1.6.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

El PET cristalino tiene dureza, rigidez y resistencia elevadas con buena tenacidad, incluso a temperaturas de 30°C . El PET amorfo se comporta de manera similar pero con menor dureza y rigidez.

El nivel de resistencia al impacto del PET comparado con otros plásticos es el más indicado para las aplicaciones de envases. Dentro de los desarrollos más recientes en PET se tienen los garrafones de 19 litros para agua purificada que pasan las pruebas comunes

de impacto que consisten en dejar caer el envase lleno a una altura de un metro y que este no se rompa después de tres a cinco veces.

1.6.3 APARIENCIA FÍSICA

El PET en estado amorfo es transparente, en estado cristalino es opaco y blanco. El PET se utiliza en su forma natural sin pigmentador, presentando una excelente calidad y brillo superficial. Cuando el producto a envasar es sensible a la luz los envases de PET pueden colorearse para proteger el contenido utilizando una gran variedad de pigmentos comunes.

1.6.4 PERMEABILIDAD

Por naturaleza propia, las películas y los contenedores poliméricos son capaces de intercambiar gases y vapor de humedad con el ambiente exterior. El grado de permeabilidad al gas y humedad depende de la estructura del polímero así como de factores de procesamiento y ambientales.

Los factores que afectan la permeabilidad son importantes en el diseño de contenedores para alimentos y bebidas, ya que finalmente tienen una influencia sobre la vida en anaquel y la calidad del producto. Para diseñar empaques que retengan o repelan ciertos materiales se requiere entender a fondo el proceso de permeabilidad. El proceso se puede considerar como tres eventos por separado:

1. El permeante es absorbido o solubilizado en la pared de la barrera en el lado donde está presente con mayor concentración.
2. Luego ocurre la difusión del permeante a través de la matriz de la barrera.
3. El permeante se evapora de la superficie de la barrera hacia el lado donde está presente con menor concentración.

El PET presenta mejor barrera al oxígeno y al bióxido de carbono que cualquiera de los plásticos comunes. Esta propiedad se mejora considerablemente como resultado de la biorientación del material, lo cual permite el desarrollo de envases para bebidas carbonatadas sustituyendo con muchas ventajas al vidrio.

La vida de anaquel de un producto se refiere al tiempo en que este puede mantenerse en condiciones aceptables para la venta. Se determina por la capacidad del envase para prevenir la pérdida de los constituyentes deseables o la ganancia de sustancias que adversamente pueden afectar la calidad del contenido (Figura 1.9). El PET presenta un nivel aceptable en propiedades de permeabilidad a gases y aromas, aunado a sus propiedades mecánicas y transparencia que lo hacen ideal en el envasado de refresco, agua y gran variedad de alimentos.

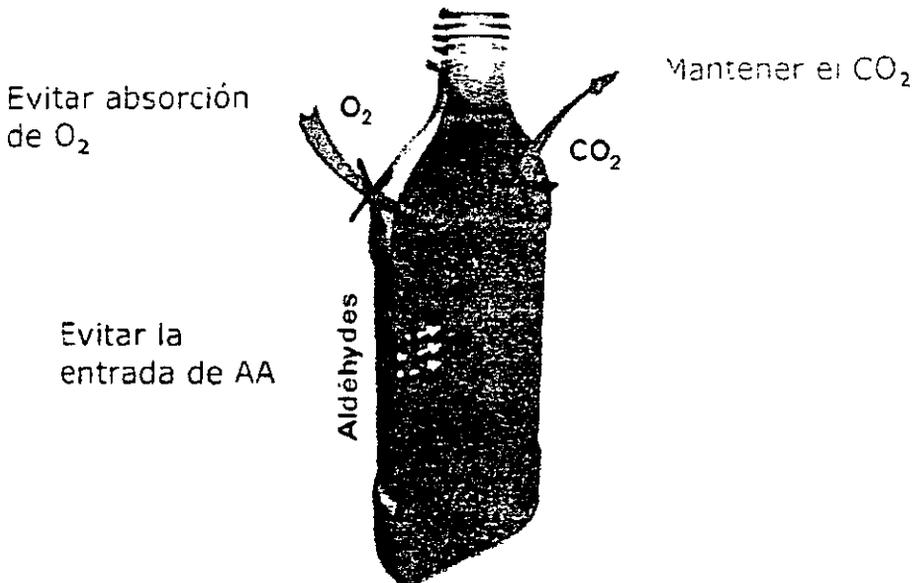


Figura 1.9 Permeabilidad del envase.

La composición química tiene un papel crítico en la determinación de la permeabilidad de una resina de barrera, como el PET. Factores tales como polaridad, cristalinidad, orientación y temperatura de transición vítrea, afectan las propiedades resultantes de la barrera.

La polaridad refleja el grado de atracción entre moléculas de polímero adyacente. Ya que la permeabilidad depende de la solubilidad, cuanto mayor similitud tengan el permeante y la barrera en polaridad, mayor será la permeabilidad esperada. El PET moderadamente polar ofrece la mejor combinación de permeabilidad tanto al gas como a la humedad.

La simetría del polímero permite un empaque estrecho de cadenas y aumenta la capacidad de un polímero a ser orientado y a cristalizarse. Esto es importante porque los permeantes no se pueden difundir a través de las regiones cristalinas o altamente orientadas de un polímero. Estas regiones sirven como obstáculos geométricos para las moléculas difusoras ya que un aumento en su fracción de volumen resulta en menor permeabilidad. La naturaleza altamente simétrica del PET favorece la orientación y cristalización, resultando en propiedades de barrera mejoradas.

La temperatura de transición vítrea de un polímero se ve afectada por la rigidez de su cadena. Arriba de la T_g , puede ocurrir un movimiento significativo de los segmentos del polímero en regiones amorfas, resultando en un aumento de volumen en el que los permeantes se pueden difundir libremente. Por lo tanto, para ser más efectivo, la temperatura de uso de un polímero amorfo o semicristalino debe ser generalmente menor a su T_g .

1.6.5 PROPIEDADES TÉRMICAS

Aunque el PET puede cristalizar en un alto grado, presenta un rango de temperatura limitado sobre el cual puede ocurrir la cristalización. Una de las desventajas del PET es su baja resistencia al flujo en estado fundido, haciéndolo imposible de moldearse por procesos de extrusión-soplo convencionales. Las propiedades térmicas del PET dependen de la morfología (amorfo, orientado, penetración de calor orientado y cristalino) presente desde la síntesis hasta el procesamiento.

Los envases de PET se llenan normalmente a temperatura ambiente o a temperaturas menores de 70°C, sin embargo, algunos alimentos como los jugos, deben ser llenados entre 85 y 90°C. Las temperaturas de llenado en caliente se emplean con el objeto de esterilizar al producto envasado así como para prevenir la decoloración y oxidación después de que las botellas se llenan. Cuando se efectúa el proceso de llenado en envases de PET con alimentos calientes, es posible que las botellas presenten una distorsión haciéndolas inaceptables para uso comercial.

La distorsión térmica ocurre debido a que la temperatura de transición vítrea del PET es de 67 a 81°C y la temperatura de distorsión es de 70°C. Existen métodos de tratamiento especiales que permiten elevar la resistencia térmica del PET para así poder penetrar en otros mercados como los de jugos de cítricos, cervezas y conservas.

1.6.6 RESISTENCIA QUÍMICA

El PET a temperatura ambiente tiene elevada resistencia a los alcoholes, ácidos inorgánicos y orgánicos, permitiendo con excelentes resultados el envase de vinos, licores, vinagres, cosméticos y productos farmacéuticos. Resiste grasas y agua por lo que es adecuado para el envase de aguas minerales y aceites.

Algunas sustancias alcalinas, hidrocarburos clorados y algunas celulosas pueden afectar al PET provocando la fragilización de las paredes del envase. Es susceptible a degradación por la acción de bases fuertes, principalmente a temperaturas elevadas.

En particular el PET es susceptible a la hidrólisis a elevadas temperaturas. Por esta razón es necesario secar al material previamente al moldeo.

1.6.7 DEGRADACIÓN DEL PET

El PET puede degradarse por tres procesos:

- Hidrólisis
- Degradación térmica
- Oxidación

La hidrólisis se presenta cuando se tiene PET de alta VI en presencia de agua, bajo estas condiciones las propiedades mecánicas, de proceso, la VI y la transparencia se reducen (Figura 1.10). De ahí la importancia del secado del material antes de procesarlo.

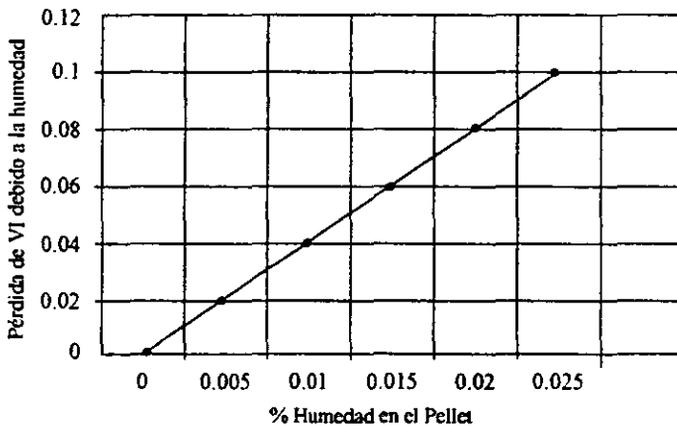


Figura 1.10 Pérdida de la VI debido a la humedad.

La degradación térmica ocurre cuando se calienta demasiado el PET, lo que provoca la formación de acetaldehído.

La oxidación se debe a que el PET se somete a temperaturas elevadas bajo la presencia de oxígeno, provocando decoloración, generación de AA y disminución de la VI. Este tipo de degradación ocurre durante el secado del material, por lo que es muy importante optimizar el tiempo y la temperatura en el secador.

1.6.8 FACTORES AMBIENTALES

Factores ambientales como la temperatura y la humedad relativa, tienen un papel importante en la determinación de las propiedades de barrera de los polímeros. Un incremento en la temperatura produce mayor permeabilidad al oxígeno. Esto se debe al aumento del volumen libre producido por el aumento de temperatura de un material polimérico. En el caso de un envase PET para bebidas carbonatadas, este comportamiento se vuelve extremadamente importante, porque la temperatura puede afectar significativamente la vida en anaquel del producto. La presión interior de un contenedor PET con agua carbonatada depende de la temperatura, ya que la solubilidad del bióxido de carbono en agua disminuye cuando aumenta la temperatura, resultando en un incremento de la presión total interna a medida que la temperatura aumenta, cuando esto sucede, el esfuerzo en la pared de la botella también aumenta acelerando el índice de difusión en toda la barrera del PET. Por cada 5 grados de aumento en la temperatura se puede esperar un aumento de 30 a 50% en la permeabilidad.

La humedad relativa también puede mostrar un pronunciado efecto en las propiedades de barrera de los materiales poliméricos, sin embargo el PET mantiene sus propiedades de barrera de igual forma tanto en ambientes húmedos como en ambientes secos.

1.6.9 CONTENEDORES DE CAPAS MÚLTIPLES

Las propiedades de barrera del PET son buenas para muchas aplicaciones de empaque para alimentos y bebidas, sin embargo existen algunos alimentos en los que pequeñas cantidades de oxígeno pueden tener un dramático efecto en la calidad del producto, como es el caso de la cerveza y el vino.

Un enfoque para satisfacer las necesidades de estas aplicaciones es del desarrollo de la tecnología de contenedores con capas múltiples. Los contenedores de alta barrera, que utilizan construcción de capas múltiples, se elaboran mediante técnicas de coextrusión, moldeo por coinyección, recubrimiento metálico y evaporación de dióxido de silicón.

Una estrategia del diseño de empaques de capas múltiples es tener una capa gruesa o capas de un polímero más económico como elemento estructurado combinado con una pequeña cantidad de resina de barrera de mayor costo. En muchas ocasiones las capas tienen adhesión insuficiente entre ellas, por lo tanto, se agregan capas de adhesivo polimérico para evitar la deslaminación.

Una ruta más económica para las estructuras con capas múltiples es la utilización de mezclas y aleaciones de polímero. En esta tecnología, dentro de una matriz de un segundo componente estructural existe material de barrera semejante a una hoja. Aunque es económico, este enfoque no mejora las propiedades de barrera en la misma proporción que la tecnología de capas múltiples. Además, la estructura de dos fases, común en las mezclas y aleaciones, puede promover empañamiento y consecuentemente inhibir la transparencia.

CAPÍTULO 2



2.1 TIPOS DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Los envases de poliéster se fabrican con equipos de producción de diferentes tipos. Cada proceso tiene sus propias ventajas y el tipo de equipo seleccionado depende del diseño y aplicación del contenedor. A continuación se enumeran los procesos de producción de envases de PET:

1. Moldeo por inyección - soplado con recalentamiento y estiramiento (proceso de dos etapas)
2. Moldeo por inyección - soplado con estiramiento (proceso de una etapa).
3. Moldeo por inyección - soplado sin estiramiento (proceso de una etapa).
4. Moldeo por extrusión - soplado.

Para cualquiera de los cuatro procesos mencionados, se requiere extraer previamente la humedad de la resina.

2.2 PROCESO DE UNA ETAPA

Dentro de esta clasificación tenemos el moldeo por inyección - soplado con estiramiento y el moldeo por inyección - soplado sin estiramiento. Se denomina de una etapa cuando las preformas se inyectan y soplan en la misma unidad. La producción de botellas normalmente va desde 200 hasta 800 botellas por hora y es posible moldear envases desde 10 ml hasta 19 l.

El sistema de una etapa es adecuado para operaciones donde se requieren varios tipos de diseños de envases en cantidades bajas.

2.2.1 MOLDEO POR INYECCIÓN - SOPLADO CON ESTIRAMIENTO

El moldeo por inyección - soplado con estiramiento combina el moldeo por inyección de dos etapas y el proceso de moldeo por soplado con estiramiento. En una

misma máquina se moldea la preforma y se forma el envase. Las preformas se mantienen calientes y se transfieren directamente a la estación de moldeo por soplado. La máquina incluye un sistema de secado de tolva, un extrusor, los moldes de las preformas y los moldes para el soplado. Este tipo de máquinas consta de tres o cuatro estaciones dependiendo del fabricante (Figura 2.1).

En la primera estación o posición, la preforma se moldea por inyección. Una vez que el contenido de humedad de la resina PET es menor a 0.005 por ciento, se funde en un extrusor con tornillo alterno. El tornillo tiene ranuras o cortes para que a medida que este gira, el polímero avance hacia adelante en los cortes a la vez que se funde. Conforme el polímero fundido se acumula en la punta del tornillo, lo empuja hacia atrás hasta que el tornillo o el indicador de posición hacen contacto con el interruptor trasero de límite. Este interruptor detiene la rotación del tornillo y controla el tamaño del disparo, es decir la cantidad de material a inyectar.

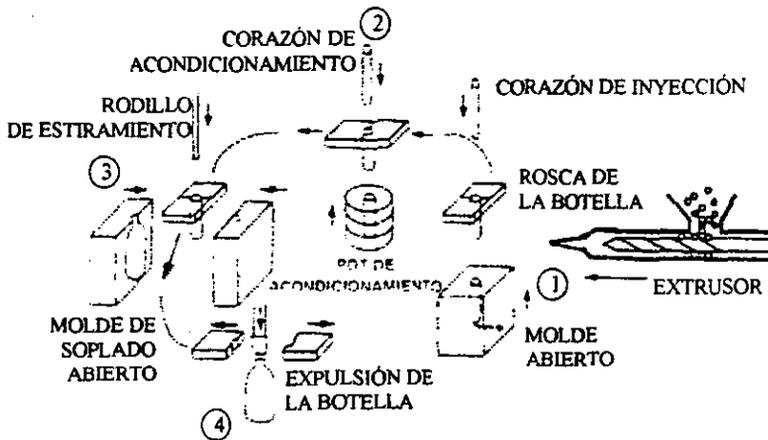


Figura 2.1 Moldeo por inyección soplado con estiramiento.

Cuando se tiene la cantidad adecuada de material a inyectar en la punta del tornillo, éste último se desplaza rápidamente para forzar una parte del polímero hacia fuera del cilindro del extrusor. El tornillo se impulsa hacia delante mediante fuerza hidráulica. Este movimiento se conoce como disparo de la inyección o llenado de la inyección.

El material fundido se inyecta hacia el bloque de colada caliente a través de una boquilla. El bloque de colada caliente, conocido como "hot runner", distribuye el flujo en las cavidades vacías de la preforma alrededor de los corazones del molde. El material fundido se mantiene bajo presión para llenar completamente el molde.

La superficie de las cavidades y de los corazones del molde se enfría mediante agua helada que circula a través de tubos y canales diseñados en el interior del molde y en los corazones de éste. A medida que el polímero fundido hace contacto con la superficie fría del molde, el calor se disipa produciendo así preformas de alta transparencia. Transcurrido el tiempo suficiente para que las preformas se enfrien, el molde se abre y la preforma se transfiere hacia la siguiente estación.

La temperatura de la preforma se controla en la segunda estación, conocida como estación de acondicionamiento. En esta estación, se introduce un corazón de calentamiento y se eleva un pot de acondicionamiento para rodear cada preforma y ajustar su temperatura.

Existen modelos de máquinas que no tienen estación de acondicionamiento. La temperatura de la preforma se controla a medida que sale de la estación de inyección, de modo que esté lista para el moldeo por soplado. La preforma se transfiere directamente de la estación de inyección a la estación de moldeo por soplado.

El moldeo por soplado ocurre en la tercera estación. El molde de soplado se cierra, un rodillo de estiramiento o centrador empuja el fondo de la preforma hacia la parte inferior del molde al tiempo que la preforma se sopla en el molde mediante aire a alta presión. El molde de soplado se abre y los envases se transfieren a la cuarta y última estación donde son expulsados. Ya que la máquina funciona en un ciclo continuo, las preformas se están moldeando por inyección, acondicionando y soplando al mismo tiempo.

2.2.2 MOLDEO POR INYECCIÓN - SOPLADO SIN ESTIRAMIENTO

El moldeo por inyección - soplado sin estiramiento combina la inyección de preformas y el moldeo por soplado en la misma máquina. La máquina consta de un sistema de secador de tolva, un extrusor, los moldes de las preformas y los moldes para soplado. Los dos pasos de este proceso se realizan en una máquina diseñada con tres estaciones.

En la primera estación la preforma se moldea por inyección. Una vez que la resina PET se seca a un nivel de humedad inferior a 0.005 por ciento, ésta se funde en un extrusor con tornillo alterno. Conforme el polímero fundido se acumula en la punta del tornillo, lo empuja hacia atrás hasta que el tornillo o el indicador de posición hacen contacto con el interruptor de límite trasero. Este interruptor detiene la rotación del tornillo y controla el tamaño del disparo.

Cuando se tiene la cantidad adecuada de material a inyectar en la punta del tornillo, éste desplaza rápidamente hacia delante para forzar una parte del polímero hacia fuera del cilindro del extrusor. El tornillo se impulsa hacia delante mediante fuerza hidráulica. El material fundido se inyecta a través de una boquilla hacia el bloque del "hot runner", el cual distribuye el flujo en las cavidades del molde. El material fundido se mantiene bajo presión para asegurar el llenado del molde. Las cavidades y la superficie de los corazones

del molde se enfrían mediante agua helada que circula a través de canales de enfriamiento. Transcurrido el tiempo suficiente para que las preformas se enfríen, se libera la presión de la prensa y el molde se abre. A diferencia de la máquina de moldeo por inyección - soplado con estiramiento, las preformas se alinean en dirección horizontal.

A medida que el molde se abre, las preformas se transfieren en sus corazones de molde a la siguiente estación para el moldeo por soplado. Cada corazón del molde está unido a una mesa circular que gira una vez que el molde de inyección se ha abierto.

La temperatura de la preforma se controla a medida que ésta sale de la estación de inyección hacia la estación de soplado. Las preformas están blandas y plegables porque no se enfrían por debajo de su temperatura de transición vítrea. La preforma se gira directamente de la estación de inyección a la estación de moldeo por soplado.

En la segunda estación, el molde se cierra y por medio de aire a alta presión introducido a través del corazón del molde, la preforma se sopla en la forma del envase. A diferencia del proceso por soplado con estiramiento, el moldeo por inyección - soplado no utiliza rodillos de estiramiento para centrar el punto de inyección. El molde para soplado se abre y el contenedor enfriado se transfiere en el corazón del molde a la tercera estación, donde el contenedor es expulsado del corazón del molde. Ya que la máquina funciona en un ciclo continuo, las preformas se están moldeando por inyección y soplado al mismo tiempo.

2.3 PROCESO DE DOS ETAPAS

El proceso de dos etapas comprende el moldeo por inyección - soplado con recalentamiento y estiramiento. Esto es, en una máquina se inyectan las preformas y se enfrían a temperatura ambiente, posteriormente en otra máquina se recalientan a la temperatura de moldeo para efectuar la biorientación. Se ha comprobado que el proceso

de dos etapas, ofrece mayores ventajas comparado con el de una etapa, logrando calidades excelentes a un costo mínimo. La mayoría de las firmas de renombre, especialmente aquellas que producen botellas para bebidas carbonatadas, han optado por el proceso de dos etapas.

2.3.1 MOLDEO POR INYECCIÓN - SOPLADO CON RECALENTAMIENTO Y ESTIRAMIENTO

En este proceso se utilizan dos tipos de máquina, la primera se conoce como inyectora y la segunda como sopladora.

Una vez que el contenido de humedad de la resina PET es menor a 0.005 por ciento, se funde en un cilindro dentro del cual se encuentra un husillo con filetes helicoidales. Parte del calor que plastifica al polímero, es suministrado por bandas calefactoras localizadas alrededor del cilindro y la otra parte es generada por el esfuerzo mecánico del material. Durante la etapa de alimentación el husillo gira y retrocede plastificando y acumulando el material en la parte frontal del barril y haciéndolo pasar a la cámara de inyección donde el pistón de inyección avanza comprimiendo el material y forzándolo a entrar al molde. El material se mantiene bajo presión para llenar completamente el molde.

El molde tiene básicamente dos placas: la placa de cavidades y la placa de corazones. La placa de cavidades se encuentra fija en la unidad de inyección, en esta placa se encuentra el bloque de colada caliente o "hot runner" que se encarga de distribuir el material en todas las cavidades. La placa de corazones es una placa móvil, que hace contacto con la placa de cavidades mediante fuerza hidráulica, este tipo de cierre se conoce como cierre tipo prensa. La presión entre ambas placas debe ser suficiente para evitar una inyección incorrecta.

Las cavidades y superficies de los corazones del molde se enfrían mediante agua helada que circula a través de tubos y canales diseñados en el interior del molde y de los corazones de éste. A medida que el material fundido hace contacto con la superficie fría del molde, el calor se disipa produciendo así preformas de alta transparencia. Transcurrido el tiempo suficiente para que las preformas se enfríen, se libera la presión de la prensa y ésta jala el molde para separarlo. Al abrir el molde, las preformas permanecen en los corazones del molde (Figura 2.2).

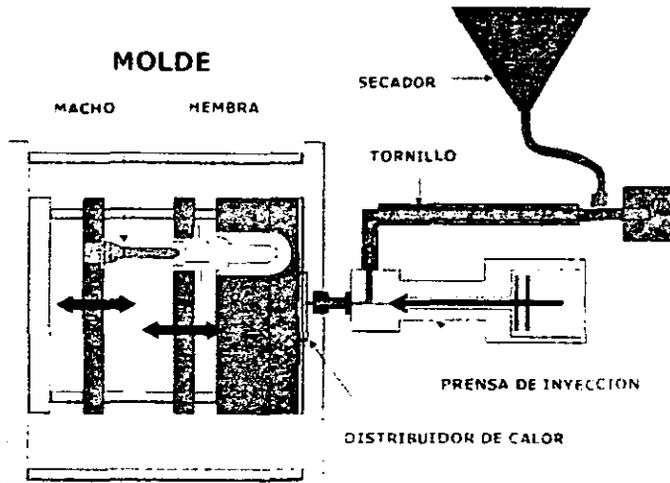


Figura 2.2 Vista general del proceso de inyección.

Para sacar preformas de los corazones del molde, éstas se expulsan hacia tubos enfriados con agua unidos a un brazo de robot. A medida que el molde se abre, el brazo del robot se desplaza entre el molde abierto. Las preformas se empujan hacia los tubos de enfriamiento y el brazo se retira permitiendo que el molde se cierre para realizar una nueva inyección. El brazo del robot sujeta las preformas para que continúen enfriándose y luego las libera en una banda transportadora. Las preformas se guardan en tolvas o cajas, las cuales son dadas de alta en el inventario para la segunda etapa de moldeo.

El segundo paso de la producción de botellas es el moldeo por soplado con recalentamiento. Las preformas se transfieren al cargador de preformas y luego entran en la máquina de soplado en una sola fila. Viajan a través de hornos que calientan la preforma a temperaturas superiores a la T_g , ocasionando que la preforma se ablande y se pueda soplar. Los hornos contienen filas de lámparas infrarojas divididas en zonas, las lámparas calientan el cuerpo de la preforma excepto la rosca. A medida que avanzan en el horno, las preformas están girando continuamente sobre ejes individuales para asegurar un calentamiento homogéneo. La intensidad de las lámparas se regula para controlar la temperatura de la preforma.

Al salir del horno de recalentamiento, las preformas se transfieren a la rueda de moldeo por soplado. Una vez que la preforma está dentro del molde, éste se cierra para dar paso a la varilla de estirado que se encarga de estirar la preforma mecánicamente al tiempo que se sopla la preforma con aire a alta presión. El aire deforma la preforma radialmente hasta que ésta toma la forma del molde. Posterior al soplado se abren los moldes y las botellas se transfieren a la zona de descarga (Figura 2.3).

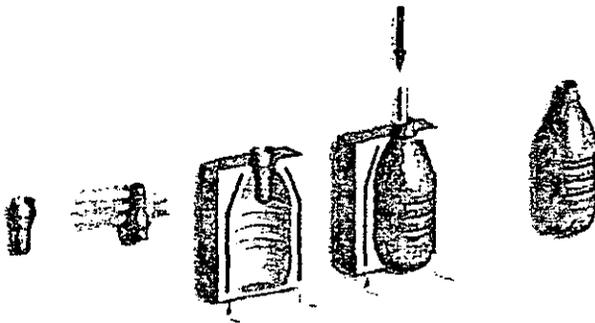


Figura 2.3 Vista general del proceso de soplado.

Para producir el contenedor, se sopla aire mediante un perno de soplado en el interior del parison, el cual está caliente y flexible. El contenedor se solidifica en el interior del molde, el cual tiene un sistema de enfriamiento por agua. El acabado o sello del cuello se moldea por compresión en el momento en que el perno de soplado entra al molde.

Ya que el parison cuelga libremente de la cabeza del extrusor, se requiere resina de punto de fusión y \bar{M}_w elevados, para evitar que el parison fundido se caiga.

2.5 VENTAJAS DE MANUFACTURA

Para determinar el proceso de manufactura más conveniente se debe tomar en cuenta el tipo, tamaño y número de contenedores a producir. De todos los procesos mencionados, el más importante para la transformación del PET en envases es el proceso de inyección - soplado con recalentamiento y estiramiento.

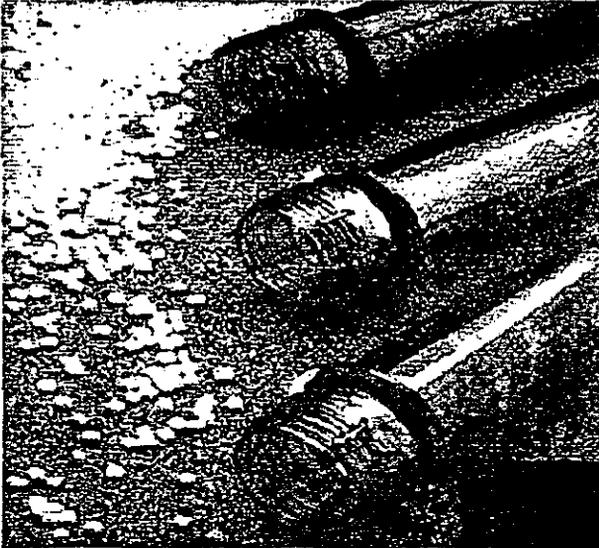
El proceso de inyección - soplado con recalentamiento y estiramiento ofrece varias ventajas, los envases poseen propiedades mecánicas superiores, no existen uniones y la superficie es de alta calidad. Los envases presentan gran precisión dimensional en la cuerda, longitud y espesor de pares. Se tienen variaciones mínimas de peso y tolerancia.

En la tabla 2.1 se muestra una comparación entre el proceso de una etapa, de dos etapas y el de extrusión - soplado.

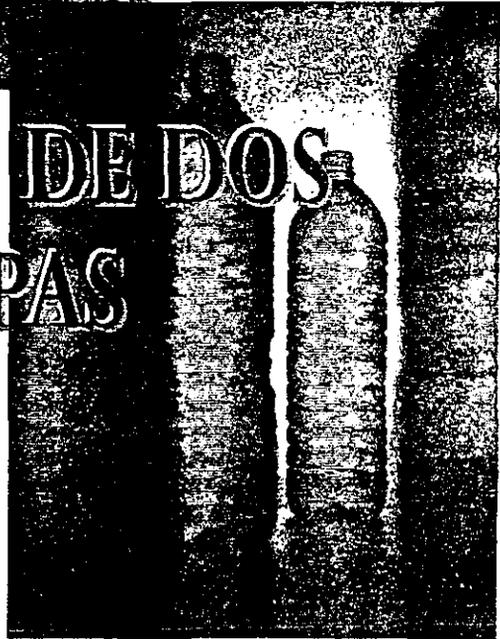
Tabla 2.1 Comparación entre los procesos de transformación del PET.

	PROCESO DE UNA ETAPA	PROCESO DE DOS ETAPAS	PROCESO POR EXTRUSIÓN - SOPLO
Cambio de moldes de inyección	Es fácil cambiar el molde	Es complicado cambiar el molde	No aplica
Moldeo de envases con asa	No es posible	No es posible	Es el único proceso que puede moldear envases con asa
Acondicionamiento térmico	Inestable	Preciso y uniforme	No aplica
Eficiencia	Las eficiencias dependen entre si	Más eficiente	Más eficiente
Material	Limitado a un tipo de material	Limitado a un tipo de material	Se pueden utilizar diversos materiales con solo cambiar unas piezas
Dimensión de los contenedores	Limitada	Limitada	Puede producir contenedores muy grandes
Producción de preformas por disparo	Moderada	Es el que tiene mayor capacidad	No aplica
Producción de botellas por hora	Moderada	Es el que tiene mayor capacidad	No aplica
Resistencia del envase	La orientación con la varilla durante el soplado, aumenta la resistencia	La orientación con la varilla durante el soplado, aumenta la resistencia	Escasa resistencia
Espesor de la pared	Delgada	Delgada	No se pueden hacer contenedores de pared muy delgada
Acabado de la rosca	Altamente definido y preciso	Altamente definido y preciso	Moderado
Merma producida por rebaba	Ninguna	Ninguna	Elevada
Optimización del proceso	Al variar algo, se debe variar inyección y soplado	Se pueden optimizar los procesos por separado	Se puede optimizar el proceso
Líneas de flujo en las paredes del contenedor	No produce líneas de flujo	No produce líneas de flujo	Produce líneas de flujo provenientes del cabezal
Apariencia física	Excelente apariencia, las preformas nunca se tocan ni se ravan	Buena apariencia, las preformas se tocan entre si y pueden ravarse	Buena apariencia
Control de peso	Menor variación y mayor control del peso	Menor variación y mayor control del peso	Variación y control del peso moderada

CAPÍTULO 3



PROCESO DE DOS ETAPAS



3.1 SECADO DEL PET.

Al procesar la resina PET, el paso más importante es el secado. El PET es altamente higroscópico y al exponerlo a un ambiente húmedo, el polímero absorbe inmediatamente la humedad. En el caso del PET, la humedad contenida no sólo se encuentra en la superficie, sino también se introduce por difusión en el interior del pellet, es por esta razón que el secado de los poliésteres como el PET es muy diferente de otros procesos, donde sólo la humedad superficial tiene que ser eliminada. Ya que la humedad se haya en el interior del plástico, forma parte del peso bruto de la resina, razón por la cual al secarse la resina, pierde agua y se nota un cambio relativo en la masa del polímero.

Durante el almacenaje, la resina absorbe humedad hasta alcanzar el equilibrio, este valor de equilibrio es de 0.6 por ciento en peso, aunque si se mantiene en un lugar cubierto y por períodos cortos de tiempo, no absorbe niveles de humedad mayores al 0.2 por ciento.

El PET es extremadamente sensible a la hidrólisis cuando está en estado fundido. Para asegurar la retención del peso molecular y de sus propiedades, el PET se debe secar a un porcentaje de humedad de 0.005 por ciento en peso o menos antes de fundirlo en un extrusor.

La presencia de humedad a altas temperaturas de fusión ocasiona que las cadenas del polímero se rompan, disminuyendo la VI (viscosidad intrínseca), esto produce una degradación en las propiedades físicas del producto final. La VI es una medida del peso molecular del polímero, es decir, es una indicación de la longitud de las moléculas. Cuando la VI disminuye, se tienen las siguientes consecuencias:

- **Cristalización rápida:** la resina fundida se pega al molde y se obtienen preformas y botellas con nubosidades.

- Mayor relación natural de estiramiento: el envase presenta paredes muy delgadas y menor resistencia.
- Envejecimiento acelerado: se obtienen preformas y envases frágiles, por lo que envejecen más rápido.

Cuando la resina no está seca, el resultado son preformas oscuras, porque el PET de baja VI se cristaliza más rápido. Por lo regular, las preformas no se pueden enfriar lo suficientemente rápido para evitar la formación de empañamiento cristalino. Hay que recordar que las propiedades mecánicas del PET dependen de la masa molecular y de la VI, por lo que al disminuir la VI, también disminuyen sus propiedades mecánicas.

El proceso de secado elimina la humedad, reduce el nivel de acetaldehído, ayuda a fundir más rápidamente la resina y mantiene el nivel de VI.

La cantidad de humedad que el PET absorbe depende de la temperatura ambiente y de la humedad relativa. Eventualmente, la resina alcanzará un equilibrio en el contenido de humedad en el cual no absorbe humedad adicional.

El PET seco se debe almacenar de manera correcta, ya que de lo contrario éste recuperará rápidamente la humedad. Para evitar la absorción de humedad se requiere un ambiente de atmósfera controlada o de gas inerte.

3.1.1. PROCESO DE SECADO DE RESINA MEDIANTE AIRE.

El secado es el proceso mediante el cual se remueve la humedad presente en la resina. La humedad se refiere a la cantidad de vapor de agua presente en el aire. La cantidad de humedad presente en el aire se denomina humedad relativa y se mide en granos por pie cúbico de aire. La humedad absoluta es la cantidad de humedad en el aire comparada con la cantidad de humedad que el aire puede retener. Cuando el aire se

calienta, se expande y puede retener más humedad. Por ejemplo a 0°C (32°F), el aire puede retener dos granos de humedad; a 20°C (68°F), aproximadamente 8 granos, y a 36°C (97°F) aproximadamente 20 granos.

Existe otro término importante en el proceso de secado: el punto de rocío, el cual se define como la temperatura a la cual comienza a condensar el vapor de agua presente en el aire, se le considera una condición de saturación a una temperatura dada. Por ejemplo, se tiene aire a 38°C (100°F) con un punto de rocío de -40°C (-40°F), si se calienta a 204°C (400°F), el punto de rocío continuara a -40°C. Por lo tanto, el punto de rocío es una medida absoluta de la humedad. El proceso de secado se realiza mediante aire caliente y seco. Para lograr que el aire se encuentre seco, se somete a un proceso de deshumidificación.

Durante la deshumidificación se remueve la humedad presente en el aire. Inicialmente el aire se hace pasar a través de camas que contienen un material desecante a base de arena sílica que absorbe la humedad del aire, a este aire se le conoce como aire de proceso. La deshumidificación disminuye el punto de rocío.

El aire de proceso, ya seco, se calienta en el calentador de aire proceso hasta una temperatura de 185°C (365°F), para así aumentar su capacidad de absorción de humedad. Una vez caliente, el aire de proceso pasa a la tolva donde se encuentra almacenada la resina. La humedad de la resina se transfiere al aire debido a la combinación del calor y el diferencial de presión del vapor entre los pellets y el aire seco. Una vez que el aire sale de la tolva se hace pasar a las camas desecantes donde nuevamente se somete al proceso de deshumidificación. Antes de volver a entrar a las camas desecantes, el aire de proceso se enfría hasta una temperatura de 50°C (122°F) mediante un intercambiador de calor y se hace pasar por una trampa seguida de un filtro para remover cualquier partícula fina. Esto se hace debido a que el desecante absorbe más eficientemente la humedad cuando la corriente de aire no es muy caliente. Por ejemplo, para una corriente de aire a 93°C

(200°F), con un punto de rocío de -40°C (-40°F), el desecante absorbe únicamente 4% de humedad; para la misma corriente pero a 38°C (100°F), el desecante absorbe 14% de humedad.

Después de cierto tiempo, es necesario remover la humedad acumulada en las camas desecantes. Este proceso se conoce como regeneración y se logra calentando el material desecante a una temperatura de 260 a 330°C (500 a 626°F). Las camas desecantes deben enfriarse antes de volver a ponerse en servicio, de lo contrario el aire de proceso se calienta demasiado pudiendo provocar degradación térmica de la resina.

En un deshumidificador típico, se tienen dos camas desecantes, una se encuentra en proceso de regeneración y de enfriamiento, mientras la otra se encuentra eliminando la humedad del aire de proceso. El cambio de la corriente de aire de una cama a otra se controla automáticamente mediante un microprocesador. En la Figura 3.1 y 3.2 se muestra la distribución general de un equipo de secado así como la trayectoria que sigue el aire de proceso durante el secado.

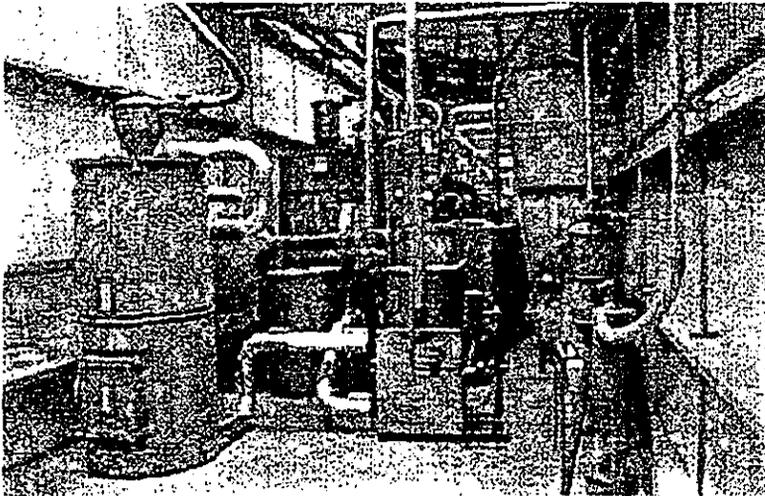


Figura 3.1 Distribución de un equipo para secado.

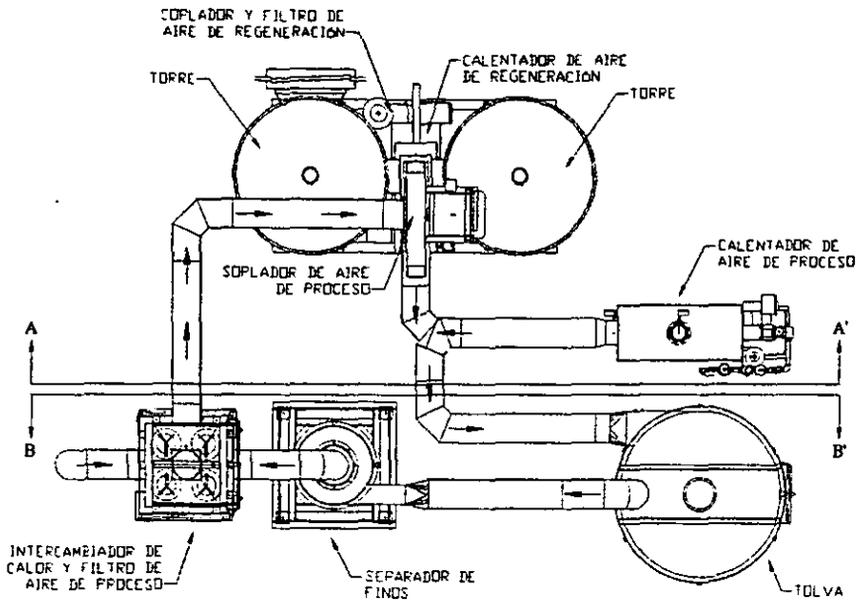


Figura 3.2 Trayectoria del aire de proceso.

Los secadores deben cumplir las siguientes condiciones para eliminar adecuadamente la humedad de la resina:

- Capacidad para calentar el aire a 185°C máximo.
- Punto de rocío de -40°C o menor.
- Buena circulación de aire.
- Capacidad para permitir tiempos de secado de 4 horas aproximadamente.

Para el PET se recomiendan las condiciones de secado que se indican en la Tabla 3.1. Estas condiciones varían de acuerdo a la marca de resina que se esté utilizando. Cada proveedor de resina debe proporcionar las características de la resina y las condiciones de secado adecuadas.

Tabla 3.1. Condiciones recomendadas para el secado del PET.

Temperatura del aire de proceso: 185°C (365°F)
Punto de rocío del aire de proceso: -40°C (-40°F)
Índice de flujo de aire: 1 cfm/lib PET/hora
Tiempo de secado: 4 horas

3.1.2. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL SECADOR.

Las partes principales que conforman el secador son:

1. Deshumidificador.
2. Calentadores de aire (proceso y regeneración).
3. Tolva.
4. Separador de finos.
5. Filtro de aire de proceso.
6. Intercambiador de calor.

Deshumidificador

El deshumidificador está formado por dos torres que contienen las camas desecantes a base de arena sílica (Figura 3.3). El desecante se encuentra en el interior de las torres sobre una placa perforada, es de color beige claro y provoca irritación en la piel. Las torres están unidas mediante dos ductos, uno colocado en la parte inferior y el otro en la parte superior de las torres. En los ductos se encuentra una válvula de aluminio de cuatro vías. Bajo la parte inferior de la válvula se encuentra el calentador de aire de regeneración y el soplador de aire de regeneración. Montado en la parte superior de la válvula está el soplador de aire de proceso.

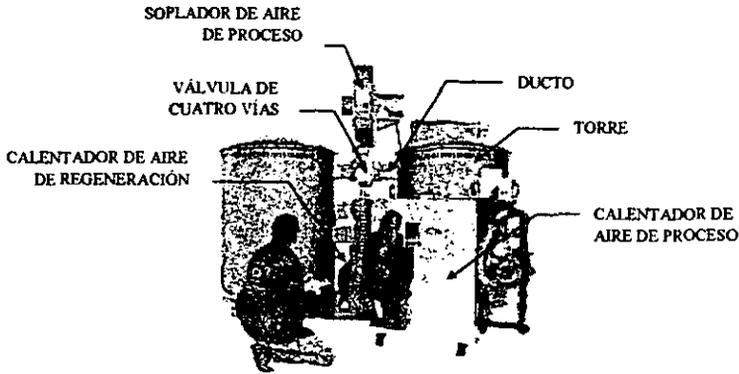


Figura 3.3 Principales componentes del deshumidificador.

La válvula está hecha de aluminio, tiene dos papalotes que controlan la dirección del aire de proceso y regeneración hacia la cama desecante adecuada. La válvula es controlada por un motor que simultáneamente posiciona los papalotes en posición paralela.

Cada soplador está protegido por un filtro. El filtro del soplador de aire de regeneración es recambiable. El filtro del aire de proceso depende del tipo de secador que se esté utilizando y de las necesidades del proceso. Algunos modelos tienen un cartucho para el filtro localizado en una carcasa que se atornilla al deshumidificador. Para modelos grandes, se utiliza una unidad independiente del deshumidificador, la cual se conecta a la entrada del soplador.

El aire de proceso pasa a través de una de las camas desecantes y es secado mediante contacto directo con el desecante. El aire abandona la cama y continúa hacia el calentador de aire proceso, donde se eleva su temperatura. Al salir del calentador, el aire de proceso se dirige a la tolva para absorber la humedad presente en la resina. La Figura 3.4 muestra la trayectoria del aire de proceso en el deshumidificador y el calentador de proceso.

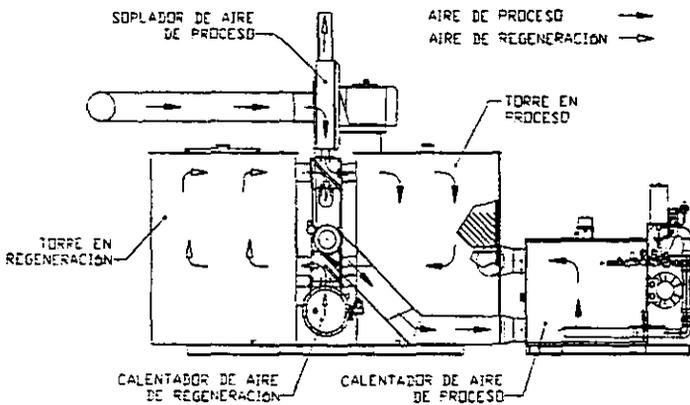


Figura 3.4 Trayectoria del aire de proceso y regeneración en el deshumidificador.

Antes de que la cama desecante alcance el punto de saturación por humedad, el microprocesador direcciona el cambio de la cama desecante de "proceso" a "regeneración". Esto se logra cambiando la posición de las dos válvulas, de tal forma que la cama que en un principio estaba en regeneración se usa ahora para proceso, y la que estaba como cama de proceso pasa al estado de regeneración para así eliminar la humedad presente en el desecante.

Calentador de aire de proceso

El calentador de aire de proceso está conectado a la salida que se encuentra en la parte superior del papalote inferior. Funciona mediante gas natural, aunque existen unidades que funcionan mediante energía eléctrica. El aire de combustión entra al calentador a través de un soplador que se encuentra montado en el calentador. El soplador incluye un filtro recambiable para evitar la entrada de polvo y partículas al calentador. El aire pasa a través de un mezclador donde se mezcla con el gas en la proporción adecuada para entrar finalmente al calentador de aire de proceso (Figura 3.4).

Existen calentadores directos e indirectos. En los directos, el aire de proceso está en contacto con la flama, mientras que en los indirectos el aire circula por ductos.

Tolva

La tolva sirve para almacenar la resina durante el secado (Figura 3.5). Tiene un cono dispersor removible para asegurar la distribución uniforme del aire de proceso y facilitar el flujo de la resina. En la Figura 3.6 se indica el flujo de aire dentro de la tolva. La tolva tiene una puerta para realizar limpieza interior, una purga, una corredera de salida para controlar el flujo de la resina ya seca y una mirilla. Las tolvas de 200lb a 800lb vienen con una cubierta aislante. Las tolvas de 1100lb o más están hechas de acero. Algunos modelos de tolva tienen una caja de imanes en la garganta de salida de la resina, los cuales tienen la función de retener materiales ferrosos presentes en la resina.



Figura 3.5 Vista general de la tolva

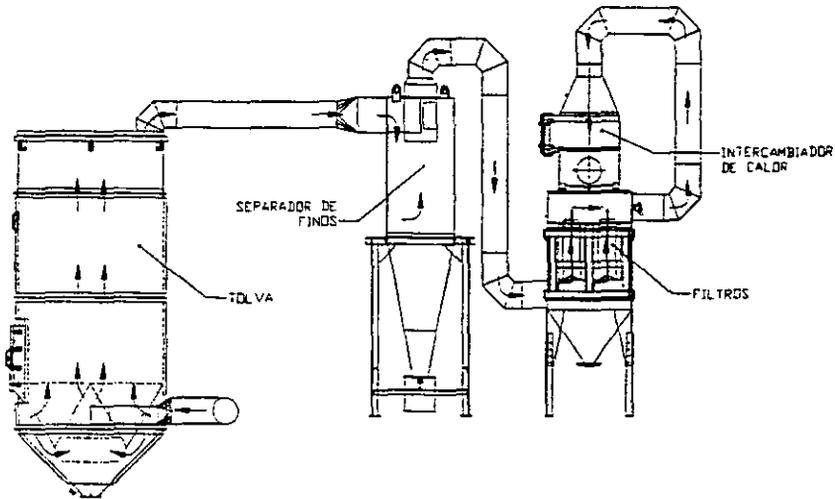


Figura 3.6 Trayectoria del aire de proceso en la tolva, el separador de finos, los filtros de aire de proceso y el intercambiador de calor.

El tamaño de la tolva requerido y las capacidades disponibles por tolva se determinan utilizando la siguiente fórmula:

$$(\text{Material requerido en lb/h}) \times (\text{Tiempo de residencia del material}) = \text{Capacidad de la tolva}$$

Filtro de aire de proceso

El aire de proceso al pasar por la tolva, arrastra partículas finas que pueden degradar substancialmente el desempeño del desecante, por esta razón el aire se hace pasar a través de una unidad filtrante que contiene varios filtros en su interior.

El filtro de aire de proceso depende del tipo de secador que se esté utilizando. Para unidades pequeñas, se utiliza una unidad montada directamente sobre el deshumidificador. Para unidades de mayor capacidad, se usa una unidad independiente que se monta en el suelo. La unidad que se muestra en la Figura 3.6 tiene cuatro filtros en

el interior. Los filtros deben inspeccionarse regularmente para evitar la entrada de polvo al desecante.

Intercambiador de calor

El intercambiador de calor se encuentra montado sobre el filtro de aire de proceso (Figura 3.6). Cuando la temperatura de retorno de aire de proceso al deshumidificador es mayor a 66°C (151°F), se recomienda el uso de un intercambiador de calor. La temperatura de retorno del aire de proceso debe regularse a 50°C (122°F) aproximadamente.

Calentador de aire de regeneración

Durante el ciclo de regeneración, se eleva la temperatura del desecante mediante el calentador de aire de regeneración. La salida del aire de regeneración a la atmósfera se encuentra en la parte inferior del papalote superior (Figura 3.4). El aire de regeneración se toma del medio ambiente a través del soplador de regeneración y se calienta mediante el calentador de regeneración hasta 204°C (400°F). A esta temperatura, el desecante libera la humedad que absorbió del aire de proceso y el aire de regeneración toma esta humedad para liberarla al medio ambiente. Una vez que la regeneración está completa, el calentador de regeneración se apaga automáticamente y el desecante se enfría dinámicamente mediante el flujo del aire de regeneración. Después el soplador de apaga y continúa un enfriamiento estático durante el resto del ciclo.

El calentador de regeneración también funciona mediante gas y se encuentra ensamblado junto con el deshumidificador. A diferencia del calentador de aire de proceso, el de regeneración es del tipo directo, es decir, parte de el aire que entra al calentador sirve para la combustión, lo que implica un contacto directo con la flama. El calentador cuenta con un soplador y también con un filtro.

Ambos procesos, el de regeneración de las camas desecantes y el de secado del aire de proceso, ocurren al mismo tiempo.

3.1.3. PARÁMETROS DE SECADO.

Los puntos clave para un secado eficiente son:

1. Tiempo adecuado de residencia de la resina en la tolva.
2. Temperatura de secado adecuada.
3. Flujo de aire adecuado.
4. Buena absorción del secante.
5. Bajo punto de rocío.
6. Flujo adecuado de la resina en la tolva.

La temperatura de secado es muy importante, ya que con el calor excesivo los pellets de resina se colorean de amarillo. Se deben evitar temperaturas superiores a 191°C (375°F) y tiempos de residencia prolongados, pues se corre el riesgo de que la resina se apelmaze en la tolva y se degrade (Figura 3.7).

El funcionamiento de un secador se ve afectado por fugas de aire, filtros sucios y mala calibración de los instrumentos de medición e indicadores de proceso. Para garantizar un secado adecuado es importante realizar mantenimientos preventivos a todo el equipo. Es importante verificar los siguientes aspectos:

- Punto de rocío del aire de proceso.
- Estado de los filtros del secador.
- Temperatura del aire de proceso a la entrada de la tolva.
- Flujo adecuado de aire.
- Nivel constante de resina en la tolva.
- Estado de la tolva (apelmazamientos).
- Ciclos de calentamiento.

- Fugas de aire y gas.
- Estado del intercambiador de calor y flujo adecuado de agua en el mismo.
- Temperatura del aire de proceso y regeneración a la entrada de las camas.
- Operación de los sopladores de proceso y regeneración.
- Calibración de los controladores de temperatura.
- Funcionamiento de los sistemas de calentamiento.
- Estado de los ductos de circulación de aire.

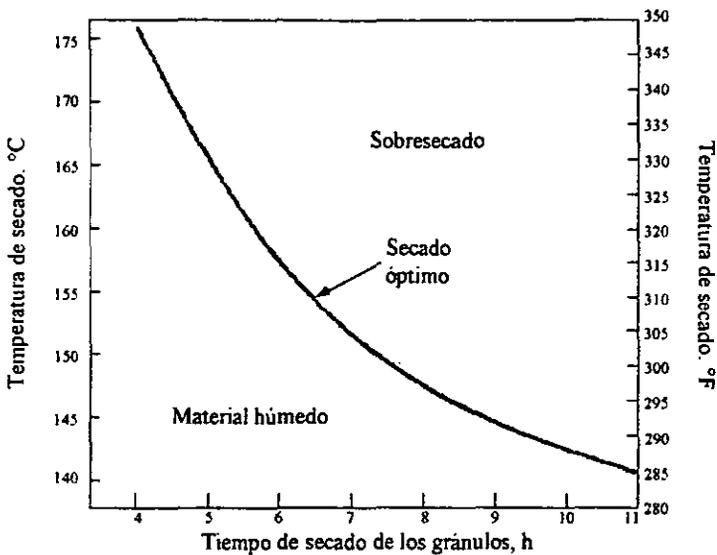


Figura 3. 7 Gráfica que indica los tiempos de secado recomendables.

Cuando por alguna causa el proceso de inyección se interrumpe es importante ajustar los parámetros del secador ya que un tiempo excesivo de la resina en la tolva bajo las mismas condiciones de secado produce degradación de la misma. A continuación se mencionan los ajustes del proceso de secado recomendados:

- Interrupciones del proceso de inyección de menos de dos horas: no se modifican los parámetros.

- Interrupciones de dos a cuatro horas: la temperatura de secado se reduce a 150°C (302°F) durante el tiempo que dure el paro.
- Interrupciones de cuatro a seis horas: la temperatura de secado se reduce a 140°C (284°F) durante el tiempo que dure el paro.
- Interrupción completa del proceso de inyección (más de seis horas): apagar el calentador de aire de proceso y dejar en funcionamiento el soplador de proceso hasta que la temperatura de la resina en la tolva sea menor a 100°C (212°F). Esto enfriará la resina en la tolva evitando su degradación por sobrecalentado.

3.2 INYECCIÓN DE LA PREFORMA

Las máquinas de inyección de plásticos derivan de la máquina de fundición a presión para metales. La primera máquina de moldeo fue patentada en 1872 para la inyección de nitrato de celulosa, pero debido a su flamabilidad y peligrosidad, el proceso no floreció.

En 1920 se construyó en Alemania una máquina para la producción de piezas de materiales termoplásticos mediante el proceso de inyección, dicha máquina era totalmente manual.

Posteriormente en 1927 y en el mismo país, se desarrolló una máquina para inyección de plásticos accionada por cilindros neumáticos, pero no tuvo mucho éxito debido a que se requería de máquinas con presiones muy elevadas.

El verdadero auge de este proceso sucedió entre los años 1930 a 1940, con las aplicaciones para el poliestireno y acrílico. Se observó que el proceso permitía la fabricación rápida y económica de artículos útiles.

A las máquinas manuales de inyección, siguieron máquinas accionadas hidráulicamente, cuya construcción alcanzó su verdadero desarrollo hasta finales de la Segunda Guerra Mundial. Eran equipos que no requerían complicados y costosos sistemas hidráulicos para poder operar y por su simplicidad se podían instalar en pequeños locales. A partir de este momento, el desarrollo y la evolución técnica fue sorprendente.

Actualmente, se cuenta con máquinas totalmente automáticas que no requieren la intervención del operador. Existen plantas industriales con instalaciones de una serie de máquinas que trabajan totalmente en ciclo automático, incluyen alimentación de la materia prima a la tolva, extracción de las piezas moldeadas y su traslado para completar el ciclo de producción.

A la par del desarrollo de las máquinas, los moldes han tenido un sorprendente progreso que ha contribuido en buena parte a alcanzar la automatización de las máquinas.

Hoy día, se encuentran en el mercado máquinas con capacidad de inyección de pocos gramos hasta 30 kg., con fuerzas de cierre de molde de 2 a 10,000 toneladas, para una gran variedad de piezas.

3.2.1. DEFINICIÓN DE LA PREFORMA

Existen infinidad de productos que se pueden obtener a partir del proceso de inyección, en este caso se hará referencia a la preforma, la cual se considera un producto de transición a partir del cual se producen envases.

El desempeño de un envase PET depende de la tasa de orientación biaxial y de la distribución regulada del material en las paredes, estas características dependen del proceso de soplado. La tasa de estirado depende de las dimensiones iniciales de la preforma, por lo que es necesario determinar los parámetros de la preforma para que se obtenga el máximo estirado y por consiguiente la orientación óptima.

La preforma se divide en tres partes: corona, cuello y cuerpo, como se muestra en la Figura 3.8. La parte inferior del cuerpo contiene el punto de entrada de la resina a la cavidad denominado punto de inyección. En el molde de inyección, el material entra en la cavidad y choca con el núcleo del molde antes de fluir hacia el resto de la cavidad. Así, la zona del punto de inyección está sometida a mayor presión y temperatura.

Es necesario que la zona circundante al punto de inyección presente curvas de gran radio, pues los salientes pueden generar líneas opacas excesivas en la preforma terminada.

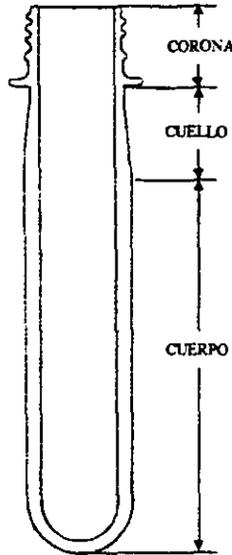


Figura 3.8 Preforma.

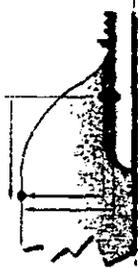
El diseño de la preforma se basa en su capacidad de estirado y su comportamiento al enfriarse y al recalentarse. El espesor de la pared de la preforma no debe sobrepasar 4.5 mm, pues arriba de este límite la pieza moldeada presentará un efecto brumoso. La baja conductividad térmica del PET impide un enfriamiento eficaz del material, al fallar el enfriamiento ocurre una cristalización que aumenta la opacidad.

La longitud de la preforma está relacionada directamente con la longitud de la botella terminada, según una relación que permite la formación de una membrana estirada uniformemente durante la primera fase del procedimiento de estirado-soplado. Esta relación de muestra en la Figura 3.9.



Espesor de preforma :

- 3.5 mm promedio
- 2 mm mínimo
- 6 mm máximo con PET especial



RELACION DE ESTIRADO LONGITUDINAL

$$\tau \text{ Largo} = \frac{\text{Largo botella estirada (L)}}{\text{Pref. Neutral eje largo (l)}}$$

Generalmente $\tau \text{ largo} = \text{aprox. } 2,5$

RELACION ESTIRADO RADIAL

$$\tau \text{ diam} = \frac{\text{Ø Botella (D)}}{\text{Ø prom preforma (d)}}$$

Generalmente $\tau \text{ diam} = \text{aprox } 4$

BIORIENTACIÓN = $\tau \text{ Largo} \times \tau \text{ diam}$

Figura 3.9 Relación de biorientación.

3.2.2. PROCESO DE INYECCIÓN

El paso más importante en la producción de buenos envases es el secado de la resina. Un secado inapropiado afecta la claridad, la VI y los niveles de AA. El agua ataca las moléculas de PET en estado fundido y las separa, disminuyendo así la VI y en consecuencia reduciendo su resistencia. El PET en estado fundido con baja VI se cristaliza muy rápido y las preformas no se pueden enfriar lo suficiente para prevenir la formación de cristales. Esta es una de las razones por la que las preformas quedan empañadas si la resina no se seca a un contenido de humedad inferior a 0.005 por ciento.

Los objetivos requeridos para producir preformas de calidad son:

1. Crear excelente transparencia, sin empañamiento.
2. Mantener una distribución homogénea del material en las paredes.
3. Mantener la VI (viscosidad intrínseca) de la resina necesaria para obtener una resistencia adecuada.
4. Minimizar la formación de acetaldehído (AA).
5. Correr ciclos de producción rápidos para disminuir costos sin sacrificar calidad.
6. Minimizar productos fuera de las especificaciones.

7. Producir alto brillo en la superficie y minimizar raspaduras y marcas durante el manejo de la preforma terminada.

Para cumplir con estos objetivos, se deben tomar en cuenta las propiedades de la resina y el impacto de las variables de procesamiento en cada etapa.

Las resinas de mayor VI tienen cadenas más largas y por lo tanto pueden producir contenedores más resistentes. La única desventaja es que a medida que la VI aumenta, es más difícil procesar el material y posiblemente requiera un ciclo de inyección más largo. El ciclo de inyección se ve influenciado porque la VI afecta el punto de fusión, el cual es una medida del flujo del material. A mayor punto de fusión, menor resistencia al flujo. Al procesar una resina de la misma VI a una temperatura más alta, el punto de fusión es más bajo. Esto significa que cuanto más alta sea la temperatura del extrusor, el polímero se fundirá con mayor facilidad en el molde. La resina con mayor VI tiene cadenas más largas, las cuales se enredan y resisten al flujo. Esto significa que la resina con VI de 0.70 llenará la cavidad del molde con mayor facilidad que la resina con VI de 0.80 a la misma temperatura.

El proceso de inyección se define a grandes rasgos como un proceso para producir artículos de plástico, en el cual se transporta un material termoplástico en forma de pellets (en este caso PET), desde una tolva, a un cilindro de plástificación donde por aplicación de calor, compresión y fuerzas de corte se funde para después inyectarlo en la cavidad del molde. Debido a que el molde se encuentra a una temperatura menor a la del punto de fusión del material, éste se solidifica en el interior del mismo.

Existen dos tipos básicos de proceso: inyección con tornillo recíprocante e inyección en dos etapas. En las máquinas con tornillo recíprocante un husillo ayuda a fundir el polímero y luego actúa como un pistón efectuando la inyección. Las máquinas de dos etapas tienen un husillo el cual funde y transporta el material hacia una cámara de

inyección, donde un pistón se encarga de inyectarlo en el molde. En este caso, se enfocara la inyección de acuerdo al proceso de dos etapas.

La máquina de inyección de dos etapas consta básicamente de las siguientes partes (Figura 3.10 y 3.11):

- Base: soporta todos los componentes mecánicos, eléctricos e hidráulicos del sistema.
- Unidad de cierre: esta unidad cierra y ejerce presión en las mitades del molde para poder inyectar el plástico y formar las piezas, abre el molde para la extracción de las mismas. Cuenta con una platina fija, una móvil (las platinas incluyen las caras del molde), placa expulsora, barras guías, pistones y un sistema hidráulico, el cual proporciona la energía para el sistema de cierre principal.

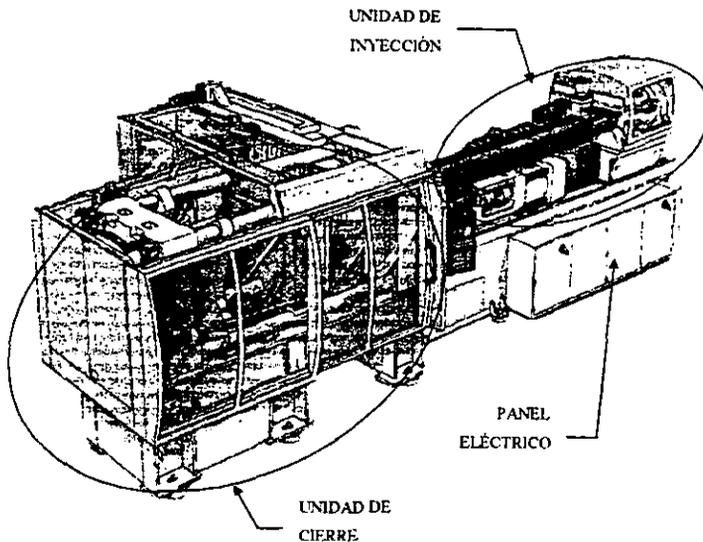


Figura 3.10 Vista de la unidad de cierre, unidad de inyección y panel eléctrico.

- Unidad de inyección: se encarga de la fusión y proceso de los gránulos de resina a un estado semi-líquido, inyecta el plástico dentro del molde. Se compone del cilindro

extrusor, husillo, cámara de inyección, pistones, tobera y un sistema hidráulico para realizar los movimientos requeridos por la unidad de inyección.

- Panel eléctrico: controla y establece la secuencia de los diferentes circuitos de la máquina, se comunica con el panel del operador (HMI) y con el panel de control.
- Unidad de fuerza: controla el flujo y presión necesarias para poder actuar los pistones hidráulicos de la unidad de cierre y de la unidad de inyección.
- Unidad del robot: permite extraer las preformas del molde y ayuda a enfriarlas. Trabaja en coordinación con la unidad de cierre.

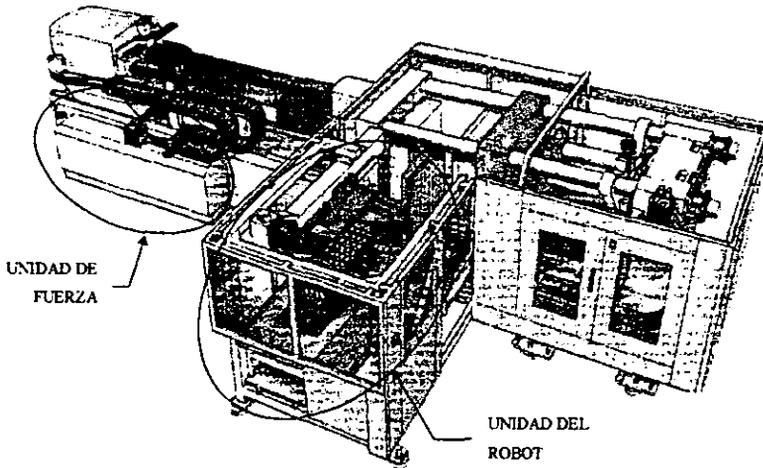


Figura 3.11 Vista de la unidad de fuerza y de la unidad del robot.

El molde de inyección tiene una parte fija y una parte móvil. En la parte fija generalmente se encuentran las cavidades del molde, la refrigeración y la boquilla donde se acopla la nariz de la tobera de inyección. En la parte móvil se encuentra el sistema expulsor de preformas, la placa porta corazones, la refrigeración y las columnas guía.

Existen diversos términos involucrados en el proceso de inyección, los cuales se definen a continuación:

- **Tiempo de ciclo:** es la cantidad total de tiempo medido entre dos aperturas consecutivas del molde.
- **Fuerza de cierre:** es la fuerza máxima, expresada en toneladas, que una máquina es capaz de mantener, y es opuesta a la presión ejercida durante la inyección sobre el molde.
- **Capacidad de inyección:** es la cantidad de material, ya sea en volumen o en peso, que la máquina puede inyectar y depende del tipo de material, debido a las diferentes densidades de cada uno de los plásticos (a mayor densidad, mayor peso de inyección).

El moldeo por inyección comienza con el flujo de granulado de resina dentro de la unidad de inyección, la cual transforma los pellets en resina fundida para hacerla llegar al molde a una presión elevada, estas operaciones se llevan a cabo en el cilindro extrusor.

La energía requerida para calentar los pellets y fundirlos depende tanto del equipo para secado de material, como de la máquina inyectora. Cuando los pellets entran a la tolva de secado de material, se encuentran aproximadamente a 20°C y cuando se funden alcanzan 280°C. En conjunto se requiere una energía de 510KJ/kg, la cual se distribuye de la siguiente manera:

- Energía proporcionada en la tolva de secado: 210KJ/Kg (41%)
- Energía proporcionada en el cilindro extrusor: 300KJ/Kg (59%)

El cilindro extrusor está cubierto por bandas calefactoras que permiten mantener fundida la resina. El funcionamiento del cilindro extrusor se divide en dos etapas. En la primera etapa, se absorbe la resina en el extrusor, se funde y se hace llegar a un compartimento denominado cámara de inyección mediante la acción de un husillo giratorio accionado por un motor hidráulico (Figura 3.12). Luego que se ha acumulado suficiente resina fundida en la cámara de inyección, se realiza la segunda fase, en la cual la resina fundida se inyecta a alta presión en molde a través de la tobera.

embargo el 80% del calor requerido para fundir la resina es proporcionado por la fricción entre las moléculas debido a la acción del husillo.

Para correr un ciclo más rápido o para procesar una resina con VI de 0.80 de manera similar a una resina con VI de 0.70, se pueden aumentar las temperaturas del cilindro del extrusor. Para correr una resina con muy alta VI, por ejemplo 1.04, las temperaturas del cilindro del extrusor se deben aumentar de la temperatura estándar de 277°C (530°F) a 304°C (580°F) y posiblemente también se tenga que aumentar la duración del ciclo de inyección. Si se aumenta la temperatura para procesar el PET, es importante recordar que el aumento de la temperatura del cilindro también aumentará la disminución de la VI durante la conversión de la resina en preforma. La disminución de la VI se vuelve muy rápida cuando la temperatura del cilindro es superior a 304°C. A mayores temperaturas se favorece la degradación del polímero lo que resulta en menor VI en el producto final.

La curva de temperatura del cilindro extrusor depende de la VI y del punto de fusión del material. Las resinas con alta VI son más difíciles de fundir y requieren una curva de temperatura inversa: mayor temperatura en las zonas 1 a 3 para promover suficiente energía de entrada durante la fusión del material. Las resinas con baja VI y las mezclas de resina requieren una curva de temperatura en descenso: menor en las zonas 1 a 3 para prevenir fusión prematura y así evitar degradación térmica del material.

El empañamiento no sólo es consecuencia de la humedad en la resina sino también de procesar a una temperatura demasiado baja. La temperatura del proceso debe ser suficientemente alta para fundir completamente la resina. Los pellets que no se alcanzan a fundir pueden servir como puntos nucleantes para cristalización prematura durante el enfriamiento de la preforma. El aumento de la temperatura de procesamiento disminuye el empañamiento. Si bien las temperaturas del proceso deben ser adecuadas para la fusión, también se deben minimizar para controlar la formación de acetaldehído y la degradación

de la resina. Es importante evitar tiempos de residencia prolongados del material en el extrusor, pues el material se degrada (se torna amarillento) y se apelmaza.

El husillo es el elemento encargado de fundir la resina mediante la acción de fuerzas cortantes, se divide en tres secciones: la primera sección es la zona de alimentación o recuperación, la segunda sección se conoce como zona de plastificación y la última sección es la zona de transferencia (Figura 3.13).

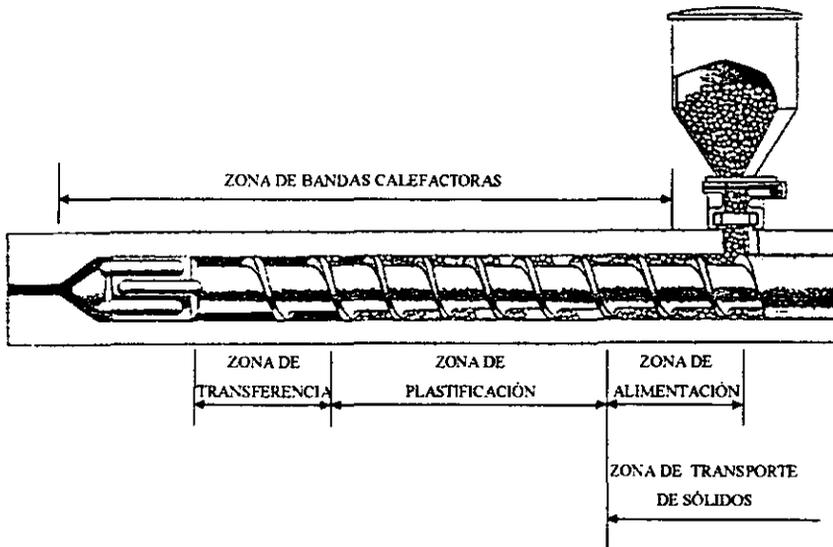


Figura 3.13 Secciones del husillo.

El esfuerzo cortante generado por el husillo es la principal fuente de energía para fundir la resina, sin embargo puede causar temperaturas de proceso inadecuadas que provocan degradación térmica del material. Para evitar el incremento de temperatura se recomienda:

- Asegurar que la temperatura de entrada de la resina a la máquina de inyección sea de 160°C.

- Reducir la velocidad del husillo: la disminución de la velocidad del husillo permite que durante la etapa de alimentación (o recuperación) se minimice el efecto del esfuerzo cortante. Se recomienda una velocidad de 35rpm.
- Incrementar la temperatura en las zonas 1 a 3 (curva de temperatura inversa, para resinas con alta VI).

Durante la etapa de recuperación la resina entra al cilindro extrusor a través de una abertura de alimentación denominada garganta y fluye dentro de los pasos del husillo giratorio. La rotación del husillo se lleva a cabo mediante un motor hidráulico, mientras que su desplazamiento lineal se realiza por medio de dos pistones hidráulicos llamados pistones de transferencia. Durante la recuperación, el husillo gira para llenar las ranuras de la sección de alimentación con resina.

Durante la etapa de plastificación, se transforma la resina en material plástico fundido por medio de los proceso de corte, calentamiento y compresión. A medida que el husillo gira, ejerce una fuerza cortante en la resina capaz de fundirla. A lo largo de la etapa de plastificación, la resina fundida se acumula en el husillo, dicho material genera una presión que provoca que el husillo empiece a retroceder al tiempo que gira, para contrarrestar este retroceso, los pistones de transferencia ejercen una presión en el husillo, a esta presión se le denomina contrapresión.

La función de la contrapresión es comprimir y mezclar la resina fundida, evitar la formación de burbujas y líneas en el cuerpo de la preforma y evitar la presencia de pellets sin fundir mediante un incremento del esfuerzo cortante (Figura 3.14). Sin embargo produce un aumento de calor por fricción que puede originar la degradación térmica del material y aumento de AA. Para controlar la contrapresión, se debe operar con un perfil de temperaturas adecuado, además se puede disminuir la velocidad del husillo.

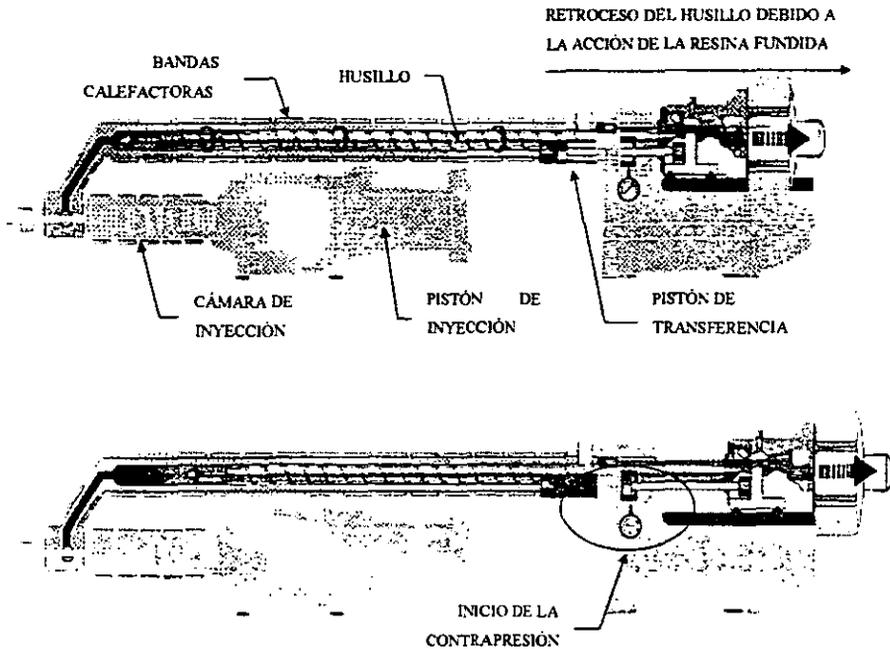


Figura 3.14 Plastificación y contrapresión.

El procesamiento de la resina PET requiere de una temperatura de fusión entre 250 y 260°C aproximadamente, bajas revoluciones del husillo y bajos niveles de contrapresión. Se requiere poner especial atención para mantener el nivel de VI adecuado, tratando de trabajar ciclos cortos y el menor tiempo de residencia en el cilindro extrusor.

Cuando el husillo alcanza la posición de transferencia, la resina fundida se transfiere a la cámara de inyección, donde se acumula hasta que alcanza una cantidad suficiente para inyectarse en el molde (Figura 3.15). Para transferir la resina a la cámara de inyección los pistones de transferencia se extienden, forzando así el desplazamiento del husillo hacia delante. A su vez, la resina acumulada en el extremo del cilindro extrusor recorre la extensión angular del cabezal del extrusor hasta un distribuidor, el cual se encarga de controlar el paso de la resina a la cámara de inyección. La resina continúa

fluyendo a la cámara de inyección al tiempo que obliga al poth de inyección a retroceder. Posteriormente el poth de inyección deja de retroceder pero los pistones de transferencia continúan empujando el husillo para agregar resina hasta que se dispone de suficiente material para relizar la inyección. Esta cantidad de material se denomina dosis de inyección y una vez que se alcanza el nivel requerido de dicha dosis, concluye la transferencia.

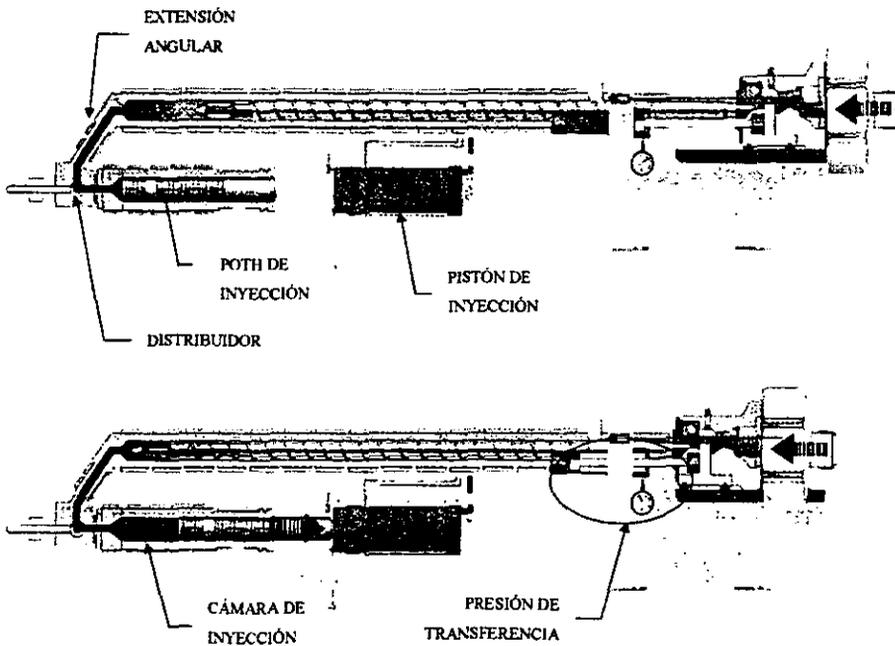


Figura 3.15 Transferencia.

Las tazas de transferencia bajas interfieren con el tiempo de ciclo, haciéndolo más largo, sin embargo una taza de transferencia elevada produce un aumento de presión en el material fundido y por lo tanto un contraflujo. La disminución de la taza de transferencia le dá más tiempo al husillo para plastificar el material, lo que permite reducir la carrera

requerida para hacer un disparo completo de material, además de que se mejora la consistencia del material.

Para inyectar la resina, el distribuidor se ajusta de tal forma que permite el flujo de la cámara de inyección hacia el molde a través de la tobera. La resina fundida se empuja hacia la tobera mediante el pistón de inyección, que continúa ejerciendo presión hasta que se llega a un valor nominal determinado por el operador y que está en función del tipo de preforma a producir.

La cámara de inyección junto con el pistón de inyección se encuentran montados en un carro sobre una pista y durante la inyección dos cilindros, conocidos como cilindros del carro de inyección, mueven hacia adelante el carro para permitir el contacto entre la tobera y el plato fijo del molde en la unidad de cierre.

La velocidad de inyección depende de la geometría de la preforma y debe ajustarse para obtener un perfil constante de velocidad. Una velocidad de inyección adecuada permite el llenado completo de la corona, reduce las variaciones de presión y temperatura, reduce esfuerzos en las regiones delgadas de la preforma y por lo tanto minimiza la contracción volumétrica. Si la velocidad de llenado es muy baja o si la preforma es muy larga, se puede presentar contracción del material. Para inyectar PET se recomienda una velocidad de inyección de 10 g/s. El tiempo de inyección depende de esta velocidad. Por ejemplo, para una preforma de 28g se tiene:

$$\text{Tiempo de inyección} = \frac{\text{Peso de la preforma}}{\text{Velocidad de inyección}}$$

$$\text{Tiempo de inyección} = \frac{28\text{g}}{10 \frac{\text{g}}{\text{s}}} = 2.8\text{s}$$

La etapa de inyección tiene dos fases (Figura 3.16):

- Fase de inyección: el pistón de inyección aplica cierta presión, denominada presión de inyección para llenar las cavidades del molde y expulsar aire acumulado en el molde, venciendo la resistencia de flujo de la resina fundida, las restricciones de la geometría del molde y de los canales de alimentación.
- Fase de retención: es una extensión de la etapa de inyección durante la cual el pistón de inyección continúa ejerciendo presión, pero ahora es mínima comparada con la presión de inyección, a esta presión se le denomina presión de retención. Su función es compactar la resina dentro de la cavidad del molde y compensar las contracciones. La retención se realiza en tres etapas, la primera etapa actúa en la corona de la preforma y es la de mayor presión. La segunda sobre el anillo de la preforma, evitando rechupes. La tercera sobre el punto de inyección para evitar hundimientos y perforaciones en el mismo.

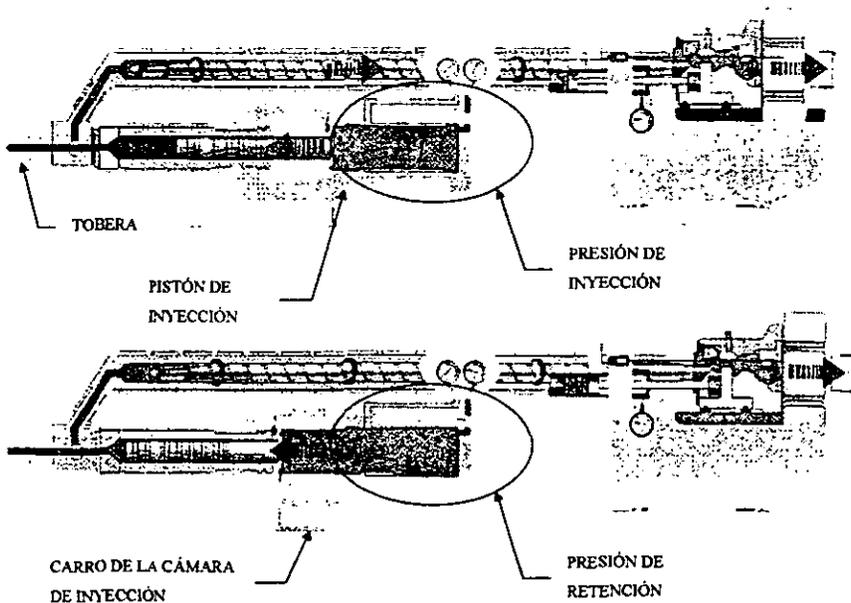


Figura 3.16 Inyección y retención.

Conforme el PET se enfría, de 280°C a 96°C aproximadamente, ocurre una diferencia en el volumen específico de 13%, la retención permite compensar esta reducción de volumen. Como los polímeros en estado fundido son líquidos compresibles, se debe tomar en cuenta que la presión de retención determina el grado de compactación de la pieza moldeada, una presión adecuada de retención evita el retorno del material, funcionando como tapón. Por el contrario, si la presión de retención es muy elevada, provoca un sobreempacamiento del material en el molde, lo que ocasiona problemas para extraer la preforma y genera esfuerzos en la misma.

La presión de inyección oscila entre 1000 y 1500 psi, el 90% de la dosis de inyección es proporcionada por la presión de inyección y el resto por la presión de retención. Una excesiva presión de inyección puede deflexionar los corazones del molde, provocando variación en el espesor de la preforma.

La posición de transición se refiere a la posición en la cual el pistón de inyección cambia de presión de inyección a presión de retención. Esta posición se ajusta aproximadamente a 13% de la longitud total de la carrera del pistón.

Una vez terminada la fase de retención, empieza la etapa de descompresión del molde. Durante esta etapa, el material que queda en los canales de colada del molde debe despresurizarse para reducir el riesto de que escurra al inicio del siguiente ciclo (Figura 3. 17).

La descompresión ocurre durante la etapa de enfriamiento, justo después de que la retención a finalizado y antes de que inicie la siguiente transferencia de material. Para realizar la descompresión el pistón de inyección retrocede de 0 a 10 mm en un tiempo de 0 a 0.5 s.

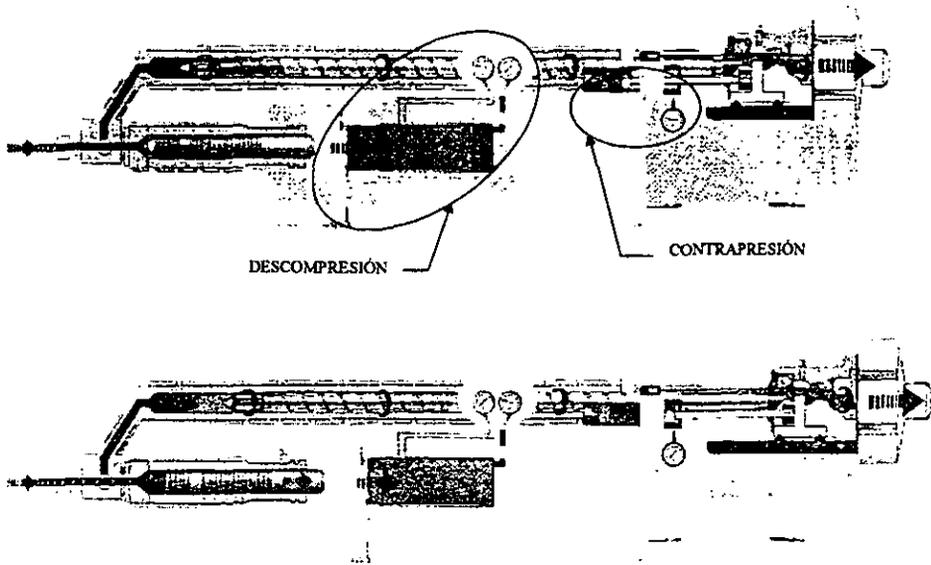


Figura 3. 17 Descompresión y preparación para la siguiente inyección.

Según la configuración de la máquina, algunos eventos de la fase de inyección y recuperación podrían ocurrir simultáneamente. Por ejemplo, durante las etapas de inyección y retención, el cilindro extrusor continúa plastificado resina. Esta configuración reduce la duración del ciclo y el tiempo de espera entre las inyecciones se reduce al mínimo.

Un aspecto muy importante en el proceso de inyección es el enfriamiento de la preforma, que permite que la preforma solifique y adquiera las propiedades mecánicas deseadas, pero además es necesario un enfriamiento adicional para alcanzar los siguientes objetivos:

- Proveer un enfriamiento adicional para minimizar la cristalinidad, especialmente en el punto de inyección.
- Proveer suficiente enfriamiento para que la preforma alcance la rigidez adecuada para soportar las fuerzas de expulsión.

- Retener la VI durante el moldeo de preformas.
- Dar tiempo suficiente al husillo para que se recupere y forme el siguiente disparo utilizando el menor número posible de revoluciones por minuto.

Una vez que el material fundido se ha inyectado en la cavidad, se requiere de un enfriamiento rápido que se logra mediante un sistema de canales de enfriamiento con agua. Este enfriamiento debe ocurrir en la zona de máxima cristalización para evitar empañamiento. A medida que el material fundido se enfría dentro de dicho rango, el calor se debe retirar rápidamente para prevenir la formación de cristales. La cristalización ocurre más rápidamente en el rango de 150 a 190°C, a fin de ser transparente la preforma debe permanecer en el rango de rápida cristalización durante el enfriamiento.

El moldeo de preformas por inyección es un equilibrio entre fusión adecuada y enfriamiento adecuado. Cuanto más gruesa es una preforma, más tiempo tarda en enfriarse. El enfriamiento en el molde limita los ciclos de producción de preformas y define la calidad de la preforma en el momento de la inyección. Para asegurar el enfriamiento adecuado, se debe ajustar el agua de enfriamiento a una temperatura óptima de 2 a 8°C (35 a 46°F) para un polímero con una VI de 0.73.

El contenido de humedad atmosférica alrededor del molde debe ser lo más baja posible. Un alto nivel de humedad puede producir serios defectos en las preformas, ya que la humedad se condensa en la superficie del molde provocando marcas en las preformas. El punto de rocío del aire debe ser de 5°C (41°F), para evitar que se condense en los corazones del molde.

La unidad de cierre permite mantener unidas las dos mitades del molde durante el llenado por inyección y separarlas para la expulsión de la preforma terminada. Estas dos etapas, llamadas cierre y apertura del molde, están sincronizadas con el funcionamiento de la unidad de inyección.

Las mitades del molde se aseguran a las platinas fijas y móvil de la unidad de cierre (Figura 3.18). La platina fija es estática y está maquinada con una perforación central diseñada para albergar la tobera de la unidad de inyección; mientras que el plato móvil se desplaza a lo largo de la base de la unidad de cierre.

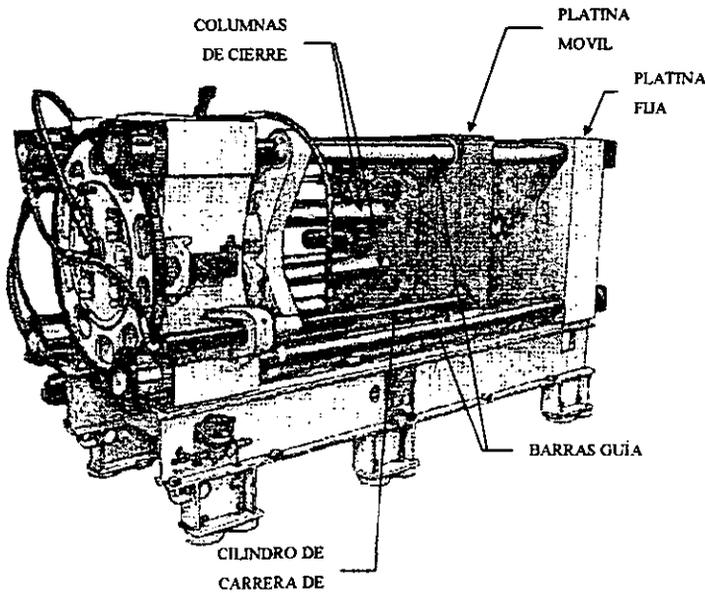


Figura 3.18 Unidad de Cierre.

Las platinas son sostenidos por cuatro barras guía. Durante el cierre, estas columnas operan en tensión para mantener el molde cerrado.

El movimiento de la platina móvil se logra mediante dos cilindros denominados cilindros de carrera de molde, los cuales se extienden durante la fase de cierre para hacer avanzar la platina móvil hacia la platina fija, pero no aplican mucha presión (Figura 3.19).

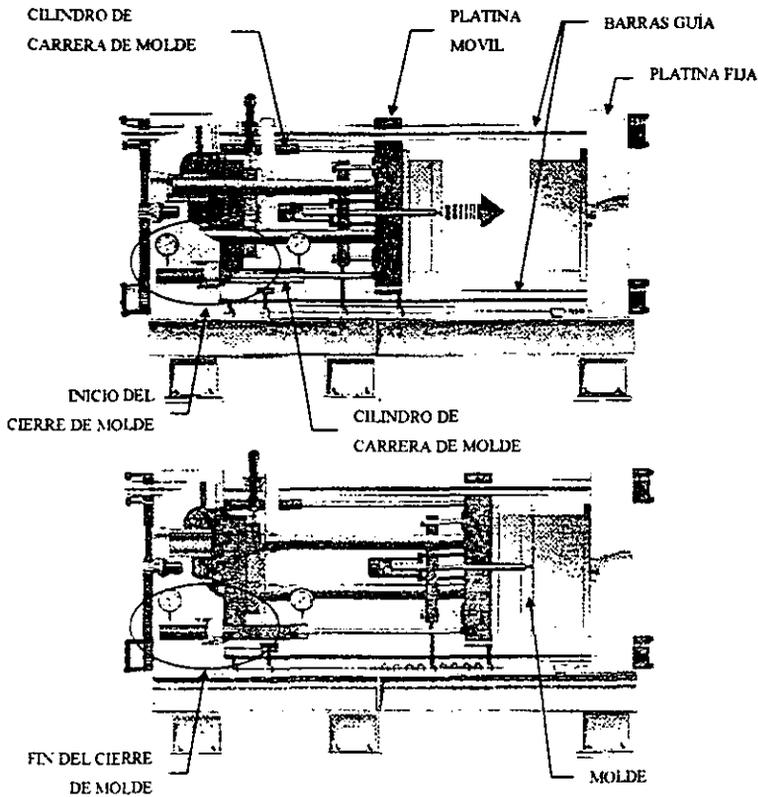


Figura 3.19 Acercamiento del molde.

La presión de cierre (tonelaje) se logra mediante la acción del pistón de cierre sobre las columnas de cierre (Figura 3.20). Entre las columnas de cierre y el pistón de cierre existe un elemento denominado bloqueador, el cual impide el movimiento de las columnas de cierre debido a la presión del molde. La fase de aumento de presión de cierre comienza cuando el bloqueador se posiciona entre el extremo de las cuatro columnas de cierre y la parte delantera del pistón de cierre. El pistón de cierre avanza y aplica la fuerza suficiente para mantener cerrado el molde durante la inyección de la resina.

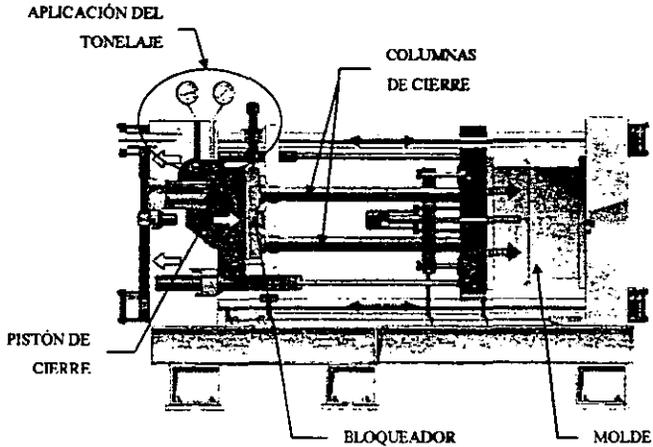


Figura 3.20 Aplicación del tonelaje o presión de cierre.

Una vez que la resina se ha endurecido, el molde se abre para expulsar las piezas terminadas (Figura 3.21). La separación del molde comienza cuando el pistón de cierre retrocede, inicialmente las dos mitades del molde se separan hasta que se alcanza el valor prescrito de separación de molde, que es de aproximadamente 15mm.

Los cilindros de carrera de molde completan el retroceso del molde hasta que se alcanza el valor prescrito de apertura de molde. Los valores nominales de separación de molde, apertura del molde, velocidad de cierre, velocidad de apertura y fuerza de cierre son variables fijadas por el operador.

Para retirar las piezas terminadas del molde, se utiliza un cilindro y un pistón de expulsión para impulsar una placa expulsora, la cual empuja las preformas terminadas fuera del molde.

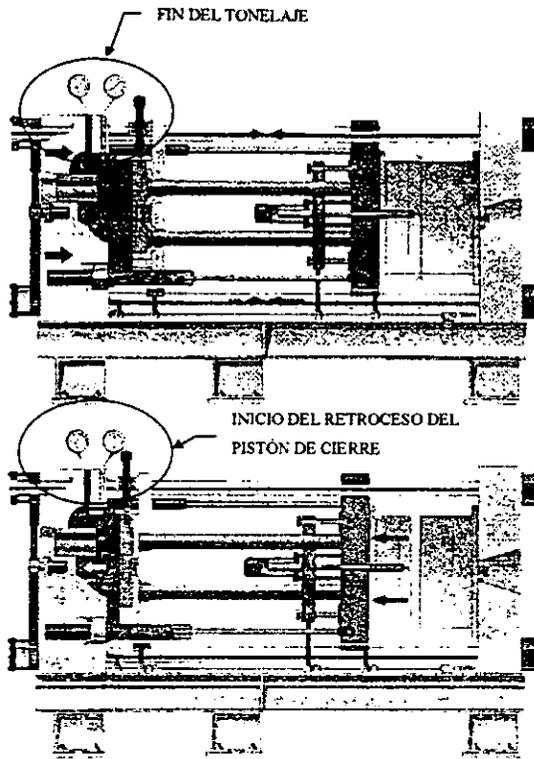


Figura 3.21 Apertura de molde.

3.2.3. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA INYECTORA

Una máquina de inyección está formada por las siguientes unidades:

- Unidad de cierre
- Unidad de inyección
- Unidad de fuerza
- Base
- Robot

Unidad de Cierre

La unidad de cierre se encarga de cerrar y mantener unidas las secciones del molde durante la inyección de la resina fundida y abre el molde para extraer las piezas terminadas (Figura 3.22).

La unidad de cierre es el apoyo de las secciones del molde y dirige el movimiento del molde. Incluye dos platinas: la platina fija, que tiene perforaciones para alojar la tobera de inyección y la platina móvil, que se mueve para abrir y cerrar el molde.

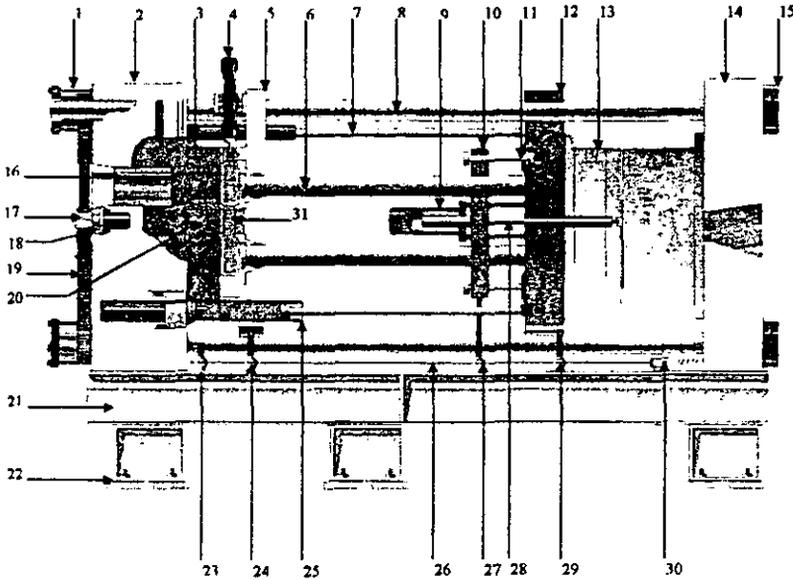
El chasis constituye la base de la unidad de cierre, está montado sobre unos soportes o patas que tienen un sistema de calzas con contratuercas que permiten nivelar la máquina.

La base del pistón de cierre alberga el pistón cierre y los bujes de las columnas de cierre. Sirve como soporte para las barras guía y para todo el sistema de ajuste de altura de molde.

Las barras guía sirven como soporte para las platinas. La platina móvil permite sujetar la placa de corazones del molde. Sobre la platina móvil actúan los pistones de carrera de molde y el pistón de cierre. La platina fija sirve de base para sujetar la placa de la colada caliente y la placa de cavidades del molde. En uno de sus extremos tiene un bebedero para albergar la tobera de la unidad de inyección.

Para mantener fijas las barras guía se utilizan tuercas en ambos extremos de las mismas. Las tuercas de altura de ajuste de molde, son cuatro tuercas ubicadas en el extremo izquierdo de las barras guía, permiten ajustar la altura de molde moviendo la base del pistón de cierre con todos sus elementos ya sea hacia atrás o hacia adelante. Tanto las tuercas como las barras guía están roscadas para permitir el movimiento entre sí. Existen otras cuatro tuercas ubicadas en el extremo derecho de las barras guía, sobre la platina fija,

permiten mantener fijas las barras pero a diferencia de las tuercas de altura de ajuste de molde no tienen movimiento alguno.



1.- TUERCAS PARA AJUSTE DE ALTURA DE MOLDE	17.- PIÑÓN
2.- BASE DEL PISTÓN DE CIERRE	18.- MOTOR HIDRAULICO
3.-CILINDRO DEL PISTON DE CIERRE	19.- ENGRANE
4.-PISTÓN DEL BLOQUEADOR	20.- PISTÓN DE CIERRE
5.- CAJA DEL BLOQUEADOR (SOPORTE)	21.- CHASIS
6.- COLUMNAS DE CIERRE	22.- PATAS NIVELADORAS
7.- VÁSTAGO DE CARRERA DE MOLDE	23.- IMÁN PARA POSICIÓN DE ALTURA DE MOLDE
8.- BARRAS GUÍA	24.- IMÁN PARA POSICIÓN DEL PISTÓN DE CIERRE
9.- PISTÓN DEL EXPULSOR	25.- PISTÓN DE CARRERA DE MOLDE
10.- PLACA DEL EXPULSOR	26.- VARILLA DEL TEMPOSONIC
11.- BOSTER	27.- IMÁN PARA POSICIÓN DEL EXPULSOR
12.- PLATINA MOVIL	28.- VARILLA DEL EXPULSOR
13.- MOLDE	29.- IMÁN PARA POSICIÓN ABERTURA/CIERRE DE MOLDE
14.- PLATINA FIJA	30.- TEMPOSONIC
15.- TUERCAS FIJAS	31.- BLOQUEADOR
16.- BUJES DE LAS COLUMNAS DE CIERRE	

Figura 3.22 Unidad de cierre

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Los pistones de carrera de molde se extienden para cerrar el molde, pero no aplican mucha presión. La presión de cierre es aplicada por el pistón de cierre, no por los pistones de carrera de molde.

El pistón de cierre aplica la fuerza necesaria para mantener el molde cerrado durante la inyección de la resina, un elemento denominado bloqueador permite transmitir el tonelaje aplicado por el pistón de cierre. Las columnas de cierre son cuatro columnas las cuales se encuentran unidas en uno de sus extremos a la platina móvil, mientras que el otro extremo hace contacto con el bloqueador para poder transmitir a la platina móvil la fuerza generada por el pistón de cierre.

Una vez que el molde se ha cerrado debido a la acción de los dos pistones de carrera de molde, el bloqueador gira entre el extremo de las cuatro columnas de cierre y la parte delantera del pistón de cierre gracias a la acción del pistón del bloqueador. Ya que el bloqueador está en posición, el pistón de cierre avanza y aplica la fuerza necesaria para mantener el molde cerrado durante la inyección. La formación de la presión de cierre empieza después de que el bloqueador gira entre el extremo de las cuatro columnas de cierre y la parte delantera del pistón de cierre.

En el interior de la base del pistón de cierre existen cuatro bujes, cuando el molde se abre, la platina móvil y las columnas de cierre se mueven hacia atrás, estas últimas entran dentro de los bujes.

El molde está formado por la placa de cavidades y la placa de corazones. Existen moldes para diferentes pesos de preforma, dependiendo del volumen del envase que se vaya a producir. Conforme aumenta el peso, también aumenta el tamaño y espesor de la preforma.

En la parte posterior de la unidad de cierre se encuentra un motor hidráulico que permite el ajuste de la altura de molde, es decir del ancho del molde. Un pequeño motor hidráulico hace girar un sistema de piñón y engrane, al tiempo que el engrane gira transmite su movimiento a las tuercas de ajuste de altura de molde, las cuales giran y mueven la unidad de bloqueo de cierre junto con todos sus componentes (base del pistón de cierre, pistón de cierre, pistones de apertura/cierre de molde, bloqueador, etc) sobre las barras guía para aumentar o reducir la distancia entre las caras del molde (Figura 3.23).

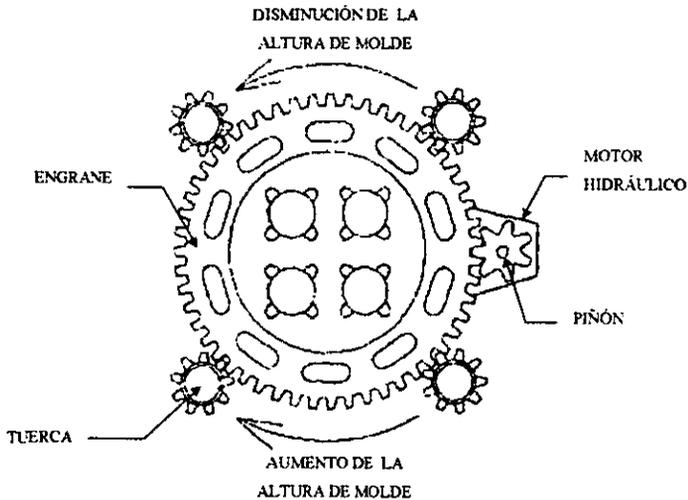


Figura 3.23 Sistema de ajuste de la altura de molde.

La placa del expulsor es una placa que se encuentra en la parte posterior de la platina móvil, tiene unas varillas las cuales están unidas en uno de sus extremos al pistón del expulsor y en el otro a la chapa expulsora, la cual se encuentra en la parte frontal de la placa de corazones. Cuando el pistón del expulsor se acciona, la placa avanza hacia la platina móvil, el movimiento se transmite a la chapa expulsora mediante las varillas del expulsor y finalmente la chapa expulsora se mueve empujando las preformas fuera del molde.

El sistema de expulsión cuenta con unos pistones auxiliares denominados booster, los cuales ayudan al movimiento de la placa del expulsor. Trabajan a la inversa del pistón del expulsor, mientras el pistón del expulsor empuja la placa, los booster la jalan (Figura 3.24).

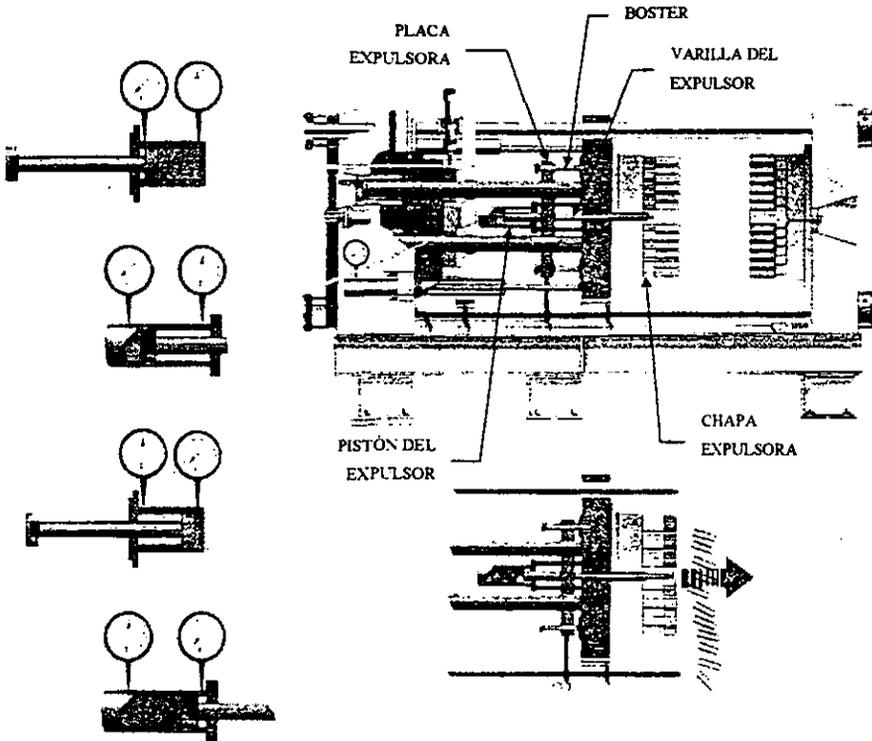
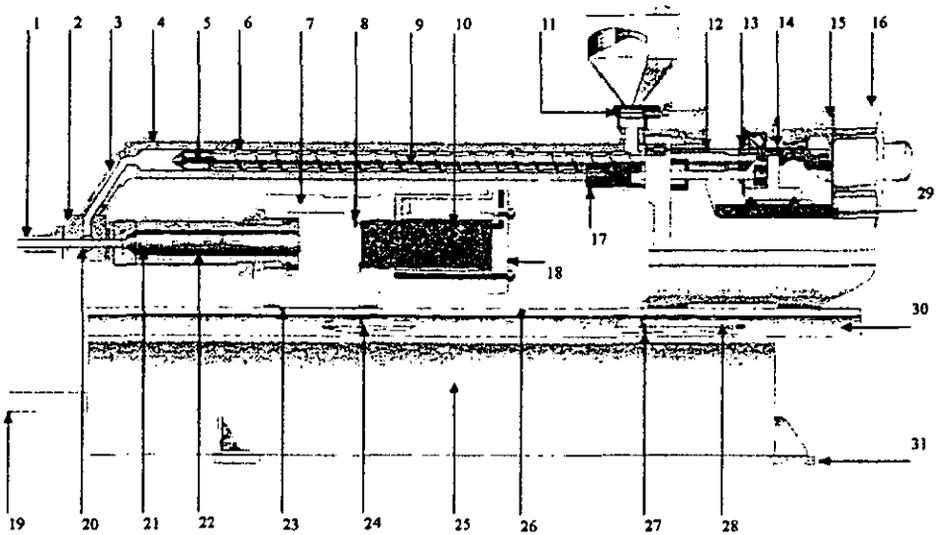


Figura 3.24 Expulsión de la preforma.

Unidad de Inyección

Tiene la función de transportar, calentar y fundir los pellets, una vez plastificados se inyecta el material en el molde ejerciendo una presión determinada. Sus elementos constituyentes se muestran en la Figura 3.25.



1.- TOBERA O BOQUILLA	2.- PISTÓN DE TRANSFERENCIA
3.- DISTRIBUIDOR	4.- TAPA DEL PISTÓN DE INYECCIÓN
5.- SECCIÓN DE TRANSFERENCIA	6.- UNIÓN UNIDAD DE INYECCIÓN/CIERRE
7.- BANDAS CALFACTORAS	8.- VÁLVULA DE CIERRE.
9.- PUNTA DEL HUSILLO	10.- POTH DE INYECCIÓN
11.- CILINDRO EXTRUSOR	12.- CÁMARA DE INYECCIÓN
13.- CAJA DEL POTH DE INYECCIÓN	14.- CARRO DE INYECCIÓN
15.- SENSOR DE FIN DE TRANSFERENCIA	16.- IMÁN DEL POSICIÓN DEL PISTÓN DE INYECCIÓN
17.- HUSILLO	18.- TANQUE DE ACEITE
19.- PISTÓN DE INYECCIÓN	20.- PISTA GUÍA DEL CARRO DE INYECCION
21.- COMPUERTA NEUMÁTICA	22.- IMÁN DE POSICIÓN DEL CARRO DE INYECCIÓN
23.- VARILLA DEL TEMPOSONIC DE TRANSFERENCIA	24.- TEMPOSONIC
25.- ACOPLAMIENTO MECÁNICO DEL HUSILLO	26.- CARRO DEL EXTRUSOR
27.- IMÁN DE POSICIÓN DE TRANSFERENCIA/CARGA	28.- BASE DE LA UNIDAD DE INYECCIÓN
29.- CARCAZA DE LA EXTRUSORA	30.- PATAS NIVELADORAS
31.- MOTOR HIDRÁULICO	

Figura 3.25 Unidad de inyección.

Utiliza un sistema de dos etapas, en la primera un husillo funde los pellets y llena la cámara de inyección, en la segunda se utiliza un pistón de inyección para empujar la resina fundida desde la cámara de inyección al molde.

La unidad de inyección está formada por una base que soporta todos los componentes, en la parte inferior se encuentran unos soportes o patas que tienen un sistema de calzas con contratuercas para nivelar la máquina. En la parte inferior frontal tiene un dispositivo que sirve como elemento para mantener unidas y alineadas la unidad de inyección con la unidad de cierre.

El cilindro extrusor circunda al husillo, ambos trabajan en forma continua en el proceso de plastificación y transporte de material. El cilindro debe contar con una construcción resistente para soportar las presiones internas, las altas temperaturas de trabajo, los desgastes provocados por la constante fricción de los materiales plásticos procesados y las eventuales corrosiones promovidas por la degradación del material o por la naturaleza química de ciertos aditivos. El interior del cilindro extrusor está cubierto por bandas calefactoras las cuales se encargan de mantener la resina caliente, no de fundirla. Una compuerta neumática permite la alimentación continua de la resina desde la tolva de secado hasta el cilindro extrusor a través de una garganta.

El husillo se encuentra en el interior del cilindro extrusor y se encarga de fundir la resina mediante fuerzas de fricción. Gira gracias a la acción del motor hidráulico del extrusor y puede preparar resina fundida continuamente para la inyección, lo que permite tiempos de ciclo más rápidos. Un acoplamiento mecánico permite la unión del husillo con el motor hidráulico del extrusor. El motor hidráulico se encuentra montado en un carro, denominado carro del extrusor que permite el movimiento del motor junto con el husillo.

Una vez que la resina se ha fundido, se transfiere a la cámara de inyección, la sección que recorre la resina desde la punta del husillo hasta la cámara de inyección se

denomina sección de transferencia. Se trata de una sección inclinada y cubierta por bandas calefactoras. La transferencia de la resina se realiza debido a la acción de los dos pistones de transferencia, los cuales jalan el carro del extrusor junto con el husillo hacia la sección de transferencia comprimiendo así la resina.

El paso de la resina hacia la cámara de inyección está controlado por un distribuidor que tiene una válvula de cierre accionada por un pistón obturable (Figura 3.26). La válvula está provista de dos canales separados perforados en su cuerpo. Cuando se retrae el pistón obturable, uno de los canales se alinea para permitir el flujo de la resina fundida desde la sección de transferencia hacia la cámara de inyección. El pistón obturable se mantiene retraído mientras se realiza la transferencia y hasta que se alcanza la dosis de inyección. Luego el pistón obturable vuelve a accionarse alineándose ahora con el canal que permite el paso de la resina fundida desde la cámara de inyección a la tobera.

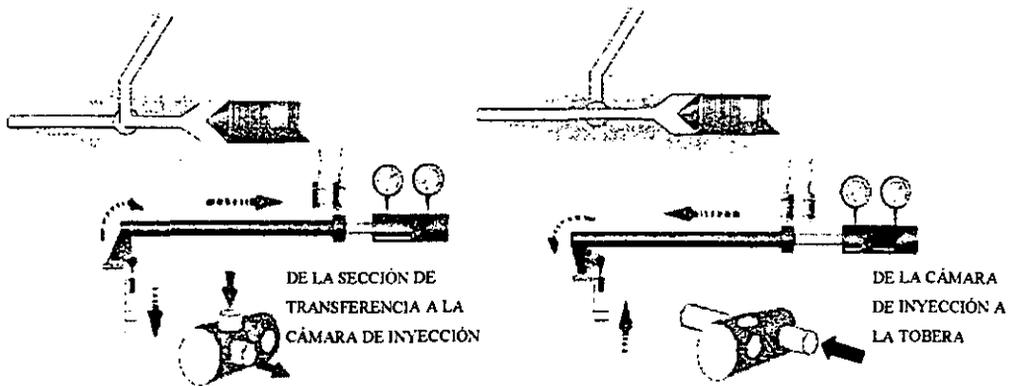


Figura 3.26 Movimientos de la válvula de cierre

La cámara de inyección permite recolectar la resina fundida hasta que se tiene cantidad suficiente para inyectarse al molde, también está cubierta por bandas calefactoras. En su interior se encuentra el poth de inyección, el cual se encarga de

inyectar la resina hacia el molde a través de la tobera gracias a la acción del pistón de inyección. El poth de inyección se mueve hacia atrás debido a la presión que ejerce la resina proveniente del cilindro extrusor. El sensor de fin de transferencia indica cuando la transferencia de material ha finalizado y manda la señal al autómatas para que el pistón de inyección comience a ejercer presión.

Tanto la cámara de inyección como el cilindro extrusor, se encuentran montados en un dispositivo denominado carro de inyección, el cual permite el movimiento a lo largo de la unidad de inyección con el fin de acercar la boquilla al bebedero del molde. El movimiento se realiza mediante la acción de los pistones del carro de inyección. Una pista permite el movimiento del carro sobre la unidad de inyección (Figura 3.27).

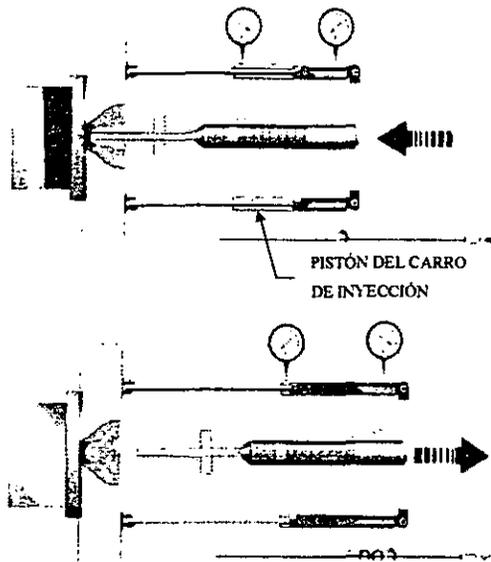


Figura 3.27 Movimientos del carro de inyección.

El pistón de inyección se encarga de generar la presión necesaria para inyectar la resina, el pistón comienza a moverse hacia el poth de inyección hasta que comienza a empujarlo, transmitiendo así la presión de inyección. Primeramente el pistón inyecta la

resina a cierta presión, hasta que se alcanza la etapa de transición, que indica que la fase de llenado ha terminado, posteriormente viene la etapa de retención, durante la cual el pistón continúa ejerciendo presión, pero menor. La etapa de retención sirve para compactar la resina dentro del molde.

La tobera o boquilla es el canal de dosificación de la resina fundida hacia el bebedero del molde. El diseño de la boquilla depende del peso de la pieza que se va a moldear y de la fuerza de cierre. Estos factores están relacionados ya que a mayor peso inyectado, mayor fuerza de cierre requerida para mantener el molde cerrado.

Diseño del husillo y definiciones

El husillo tiene una ranura en espiral a lo largo del cilindro la cual controla el avance del polímero. La profundidad del corte es la profundidad de la ranura a lo largo del husillo. El ángulo de los cortes desplaza el polímero hacia adelante a medida que el husillo gira.

Los husillos para poliéster por lo regular están diseñados con tres secciones. La primera sección (porción inicial) es el área de alimentación, cuyo corte es el más profundo. Esta sección se encarga de recoger los pellets desde la tolva y los conduce hacia adelante.

En la segunda sección (porción central), conocida como área de transición, la profundidad de corte disminuye gradualmente. Esta sección se encarga de comprimir el material y eliminar el aire atrapado.

La última sección, el área de plastificación, controla la salida. En esta sección se lleva a cabo la plastificación final homogeizando el material.

La relación L/D es la longitud cortada del husillo, dividida entre el diámetro exterior del husillo. Una alta relación L/D indica mayor tiempo de residencia. Se recomienda una relación de 20-25:1 para PET.

El índice de compresión es la profundidad de corte en el área de alimentación dividida entre la profundidad de corte en el área de plastificación. El índice de compresión debe ser suficientemente elevado para comprimir el polímero fundido y eliminar bolsas de aire. Para PET se recomienda un índice de 2.5:1.

El husillo es la pieza que tiene más contacto con el plástico y sus aditivos. El grado de desgaste depende de ciertos factores como:

- La abrasión y corrosión que generan fibras, aditivos, agentes reforzantes y pigmentos.
- La corrosión que origina la degradación de algunos polímeros.
- El mal diseño del husillo.
- La velocidad del husillo.
- La compatibilidad de materiales de construcción del husillo con el cilindro extrusor.

Unidad de Fuerza

Es la encargada de proporcionar la energía necesaria para que la máquina inyectora funcione (Figura 3.28). Cuenta básicamente con tres sistemas: el sistema neumático, el sistema hidráulico y el sistema eléctrico.

El **sistema neumático** suministra aire a presión a varios componentes de la máquina. En la unidad de cierre, este sistema habilita la expulsión de piezas mediante aire, el sistema de lubricación automática y los componentes de enfriamiento del molde. En la unidad de inyección, se suministra aire a la compuerta neumática de alimentación en la garganta de alimentación para controlar el flujo de la resina.

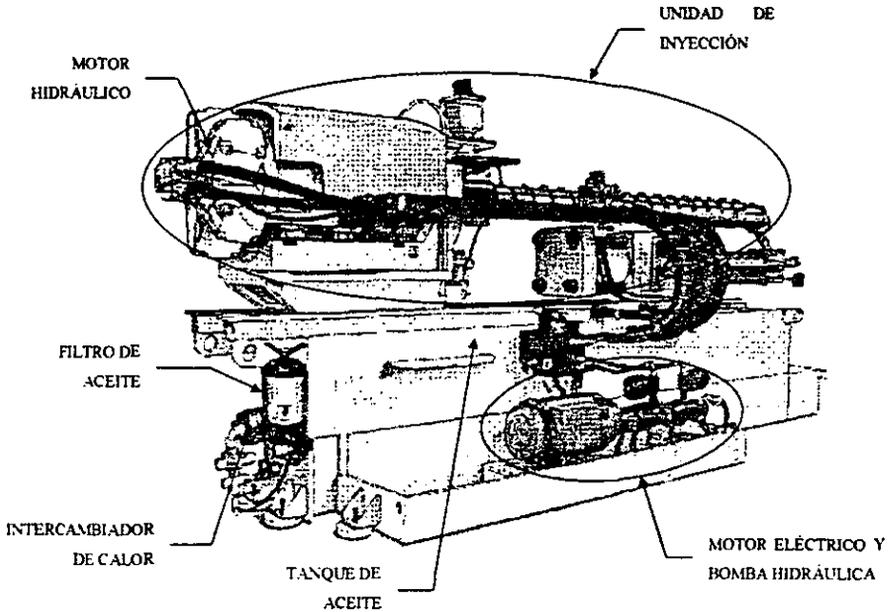


Figura 3.28 Vista de la unidad de fuerza.

Es sistema hidráulico es accionado por el conjunto motor eléctrico y bomba. Permite el funcionamiento de todos los componentes de la máquina, incluyendo los pistones y acumuladores de la unidad de cierre y de inyección, así como el motor del extrusor mediante aceite a presión. El aceite se almacena en un tanque contenido dentro de la base de la unidad de inyección. El conjunto de la bomba, consiste de tres bombas separadas:

- a) Bomba del sistema: acciona la mayoría de los circuitos hidráulicos de la máquina.
- b) Bomba del extrusor: acciona el motor del extrusor.
- c) Bomba del filtro: dirige el flujo de retorno al tanque a través del filtro hidráulico.

A continuación se hace referencia a los principales componentes del sistema hidráulico (Figura 3.29):

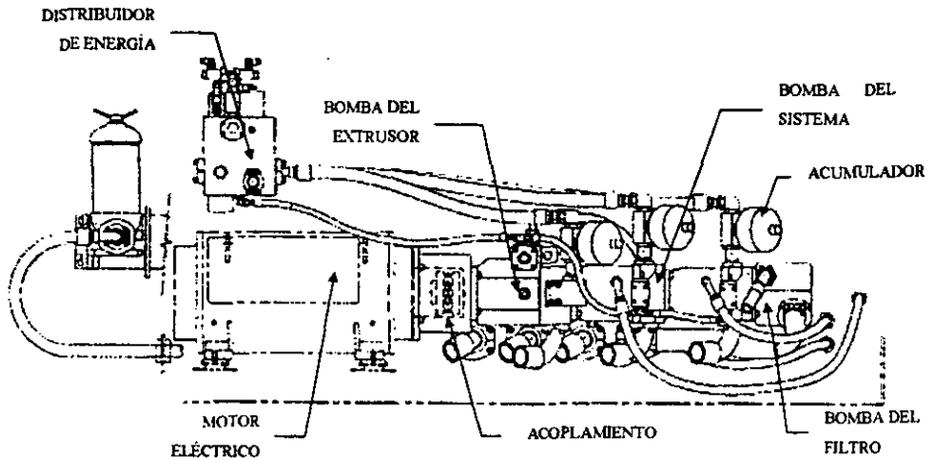


Figura 3.29 Sistema hidráulico.

- Bomba del sistema es una bomba de pistón axial de desplazamiento variable con control compensado por presión. Proporciona energía para accionar todos los circuitos hidráulicos de la unidad de cierre y los pistones de la unidad de inyección. La bomba es ajustada desde fábrica para mantener 180 bar (2600 lb/pulg²) de presión en el sistema. Esta bomba siempre tratará de alcanzar esta presión ajustando el volúmen de flujo que desplaza. Cuando la presión del sistema alcanza 180 bar (2600 lb/pulg²), la bomba se ajusta para minimizar el flujo. Cuando la presión del sistema cae por debajo de la presión establecida, la bomba tratará de alcanzar esta presión aumentando la tasa de flujo. Esta bomba no requiere ningún control eléctrico y no tiene parámetros ajustables por el operador.
- Bomba del extrusor se utiliza para controlar la velocidad de rotación del husillo giratorio. Se trata de una bomba con pistón axial de desplazamiento variable con un control electrohidráulico. La bomba cuenta con un control electrónico de flujo proporcional el cual requiere de una señal de 0 a 10 voltios para ajustar el flujo de la bomba. La presión piloto de 20 bar (290 lb/pulg²) es suministrada por la bomba del sistema a través de una válvula reductora de presión. Al igual que la bomba del

sistema, esta bomba normalmente mantiene 180 bar (2600 lb/pulg²) de presión, sin embargo, durante la plastificación, el flujo de esta bomba es proporcional al nivel de su señal de comando de entrada. Este método de control permite una velocidad variable del husillo. No existen parámetros ajustables por el usuario en esta bomba.

- Bomba del filtro es una bomba de paletas de desplazamiento fijo que genera el flujo requerido para filtrar y enfriar el aceite por medio del filtro de aceite hidráulico y el intercambiador de calor. El fluido regresa al tanque desde el intercambiador de calor. Esta bomba no requiere ningún mando eléctrico ni tiene parámetros ajustables por el operador.
- Motor del extrusor: está montado en la sección del extrusor, es un motor hidráulico de desplazamiento fijo. El flujo de aceite al motor hidráulico hace que rote el husillo. Durante la plastificación, la presión de aceite necesaria para hacer rotar el husillo a una velocidad constante variará dependiendo de las temperaturas del cilindro extrusor, de la resina y del número de pasos del husillo.
- Pistón de la unidad de cierre: el pistón de la unidad de cierre aplica presión para mantener el molde cerrado y aplica la fuerza necesaria para separar las mitades del molde luego de que el plástico inyectado se ha enfriado. La fuerza de cierre es transmitida al molde por el bloqueador y las columnas de cierre. Las funciones principales del circuito de cierre son: aumentar la presión de cierre (apretar), soltar (descompresión), abrir (separar el molde) y reajustar cierre.
- Pistón del bloqueador: un pistón hidráulico individual opera el bloqueador. La posición del bloqueador adentro ocurre cuando el vástago del pistón se retrae, y la del bloqueador afuera, cuando el vástago se extiende.
- Pistón de carrera de molde: la unidad de cierre está equipada con dos pistones de carrera de molde que controlan la posición de la platina móvil a lo largo de la base de la unidad de cierre. El funcionamiento de estos cilindros abre y cierra el molde.
- Pistón de inyección: en la unidad de inyección, un pistón hidráulico individual genera la fuerza necesaria para inyectar el plástico en el molde.

- **Pistón de transferencia:** el pistón de transferencia se extiende cuando el distribuidor está colocado de tal manera que permite el paso de la resina desde el husillo hacia la cámara de inyección. La operación de transferencia tiene un perfil ininterrumpido de velocidad hasta que la acumulación del plástico se acerca al punto de inyección. La presión hidráulica aumentará para compactar el plástico en la cámara de inyección hasta que se alcanza la dosis de inyección.
- **Pistones del carro de inyección:** permite controlar el movimiento del carro de la unidad de inyección. Se utilizan dos pistones hidráulicos los cuales están montados diagonalmente opuestos uno al otro, se encuentran ubicados a cada lado del cilindro del extrusor. Los pistones del carro se encargan de mantener la fuerza de contacto de la tobera sobre el bebedero del molde y mueven la sección del extrusor hacia el plato fijo o la alejan de él. La carrera del carro se sitúa entre 0 y 20mm.

El **sistema eléctrico** o **unidad de mandos eléctricos** está formado por la sección de mandos y dos secciones de energía. La sección de mandos contiene los soportes de la alimentación de electricidad de control y de Mando de Lógica Programable (MLP). Las secciones de energía contienen los disyuntores principales y del motor de la bomba hidráulica, así como los disyuntores y relevadores para las funciones de calefacción y seguridad de la máquina.

Unidad del Robot

La unidad del robot permite extraer las preformas del molde y ayuda a enfriarlas. Consta básicamente de un brazo con un plato con cavidades denominadas dedos del robot (Figura 3.30).

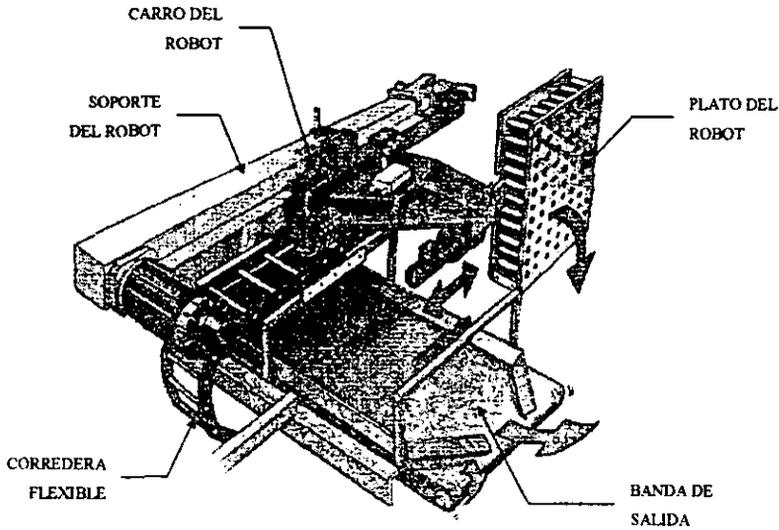


Figura 3.30 Vista general de la unidad del robot.

El robot trabaja en coordinación con la unidad de cierre, cuando finaliza la inyección y el molde se abre, el robot avanza para colocarse entre las dos placas del molde, al momento que se acciona la placa de expulsores, se activa un sistema de vacío en los dedos del robot que permite prácticamente succionar las preformas dentro de los dedos del robot, una vez extraídas las preformas de la placa de cavidades del molde, el robot se retira dando paso al cierre del molde para el siguiente ciclo de inyección (Figura 3.31).

Una vez fuera del molde, el robot se posiciona horizontalmente y expulsa las preformas mediante un sistema neumático y un sistema mecánico. El sistema mecánico consiste en una serie de pequeños pistones accionados por aire los cuales empujan la preforma fuera del plato del robot. El sistema neumático ayuda a la expulsión mediante aire (Figura 3.32).

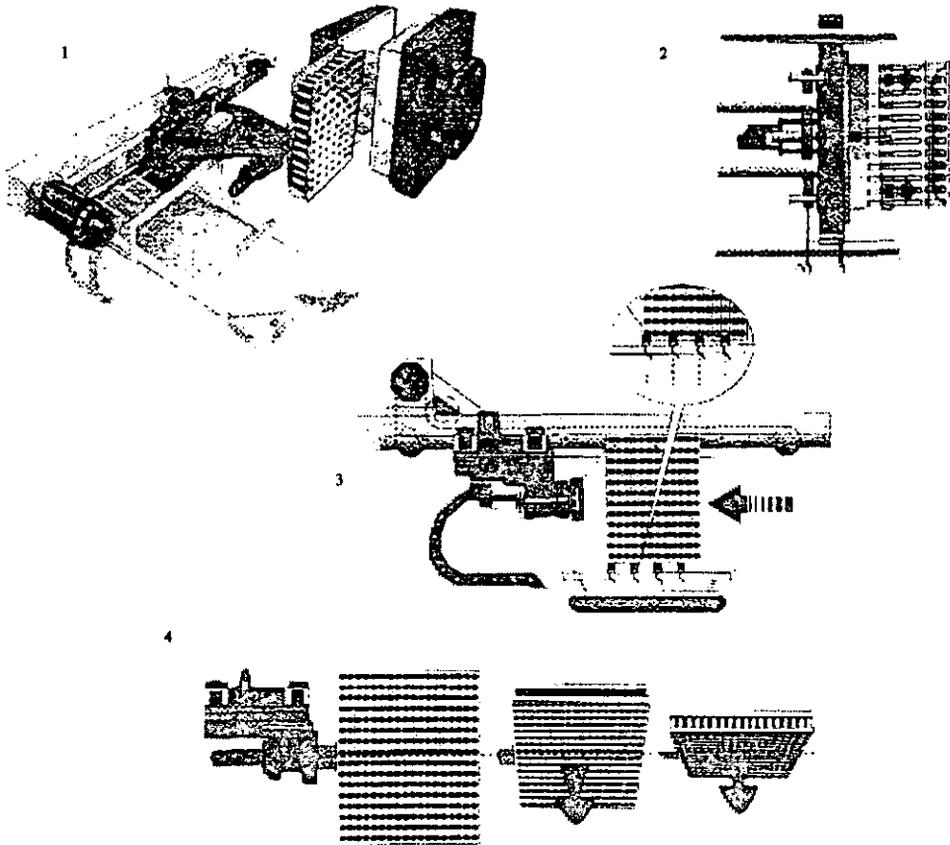


Figura 3.31 Toma de las preformas.

El plato del robot contiene el triple de cavidades que el molde, esto permite enfriar las preformas por más tiempo y expulsar las preformas por etapas. Son tres las etapas, y cada una corresponde a una colada del molde, es decir que por cada tres coladas que la máquina inyecta, el robot expulsa una colada. Durante el tiempo que transcurre entre el momento en que el robot toma las preformas del molde y finalmente las expulsa, la preforma se enfría gracias a un sistema de enfriamiento por agua y en algunos casos por aire. Una serie de fotoceldas indica la etapa en la que se encuentra trabajando el robot y controlan la expulsión de las mismas (Figura 3.32).

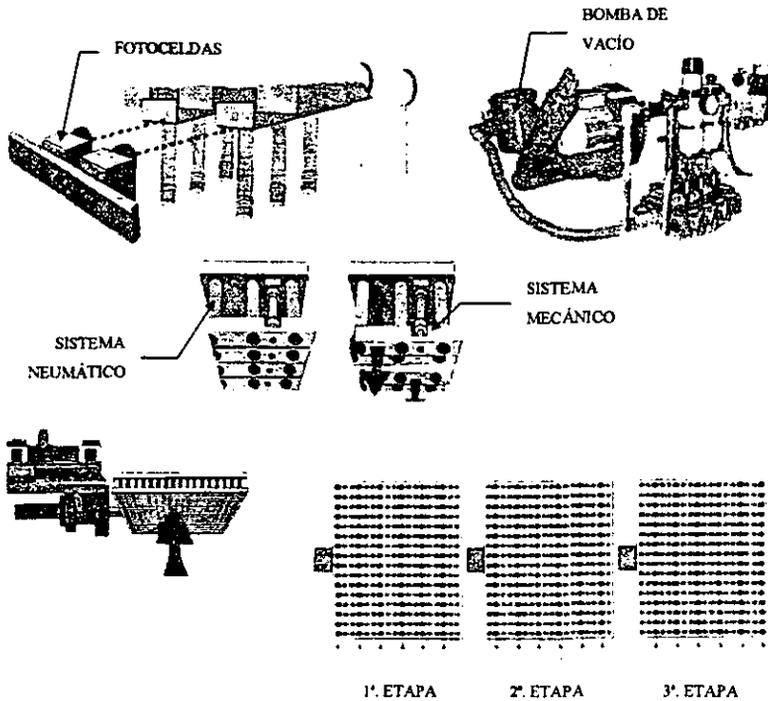


Figura 3.32 Descarga de las preformas.

3.2.4. EFECTOS DEL ACETALDEHÍDO

El acetaldehído (AA) es un subproducto que se genera en la manufactura del poliéster. También se genera durante la extrusión de la resina. Es un gas incoloro a temperaturas superiores a 20.8°C (69.4°F) y tiene un olor a frutas. Ocurre de manera natural en niveles de 1 ppm en muchos alimentos. Las bebidas carbonatadas y el agua son sensibles a los altos niveles de AA porque este puede afectar su sabor.

A medida que aumenta la temperatura de procesamiento, también aumenta el nivel de AA. La temperatura se debe minimizar para reducir la formación de AA y a la vez debe ser lo suficientemente alta para asegurar que el PET se funda por completo y evitar empañamiento.

La alta temperatura del material fundido, ya sea que se haya inducido por las fuerzas cortantes del husillo, la contrapresión o las bandas calefactoras, es la fuente más importante de la formación de AA durante el moldeo de la preforma. Cuanto menores sean las temperaturas de moldeo, los índices de corte y los tiempos de residencia, se minimizará la formación de AA.

Al tomar muestras de las preformas inmediatamente después de un arranque o un paro prolongado para comprobar el AA se encontró que tienen un elevado contenido de AA debido al alto corte luego de la purga o a la excesiva exposición al calor en el cilindro, por lo que no se recomienda utilizarlas.

Cuando se utilizan procedimientos adecuados de moldeo, se logran niveles aceptables de AA en las preformas (6 a 8 ppm). Esto corresponde a botellas que tienen resultados aceptables en pruebas de AA en el espacio libre de la botella durante 24 horas (Figura 3.33).

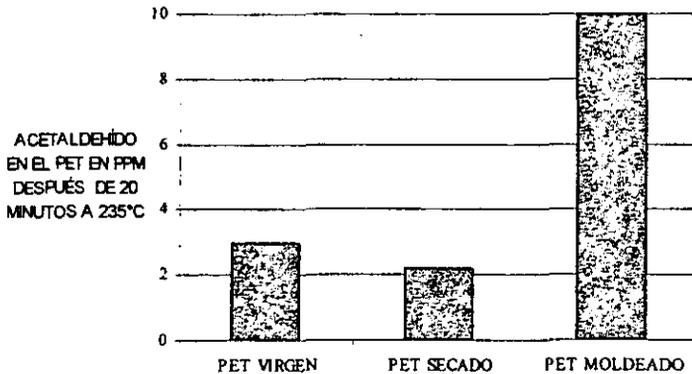


Figura 3.33 Comportamiento del AA

El índice de difusión del AA en el cuello de la botella aumenta a medida que se aumenta la temperatura del almacenamiento. Dentro del rango de 26 a 32°C (79 a 90°F) el valor de AA en 24 horas en el cuello de la botella casi se duplica por cada aumento de

la temperatura de almacenamiento de 8°C (46.4°F). Por lo tanto para asegurar la obtención de valores aceptables de AA en el cuello de la botella, se requiere controlar la temperatura durante el almacenamiento.

En preformas para bebidas, los tiempos de llenado de la cavidad del molde por lo regular son de 4 a 6 segundos. Tiempos de inyección mayores aumentan el calor de corte del polímero en el punto de inyección, además pueden ocasionar ondas y manchas.

La presencia de humedad en la preforma se observa como opacidad, erróneamente se incrementan las revoluciones por minuto del husillo, la temperatura de las bandas calefactoras o la contrapresión, esto elimina la humedad, pero incrementa los niveles de AA. La presencia de humedad en la preforma es señal de un secado incorrecto de la resina.

3.3 SOPLADO DE LA BOTELLA

3.3.1. PROCESO DE SOPLADO

El proceso de soplado consiste en biorientar la preforma para que esta tome la forma deseada. Las consideraciones a tomar en el proceso de soplado son:

- Tipo de material que se va a moldear.
- Cambio que ha de seguir el material al expandirse dentro del molde.
- Espesor de la pared de la pieza moldeada.

La biorientación es el resultado de un estirado axial y radial (Figura 3.34). El estirado axial consiste en estirar mecánicamente la preforma mediante una varilla. El estirado radial permite que la preforma tome la forma del molde gracias a la acción del aire. Las cadenas estiradas mediante la biorientación están mejor ordenadas, los núcleos están mas juntos y se crean enlaces de mutua atracción. Esta unión preserva la transparencia del PET y contribuye a incrementar el módulo de elasticidad (módulo de Young) y por lo tanto las propiedades mecánicas. El módulo de Young caracteriza la resistencia de estirado obtenida por una prueba de tensión.

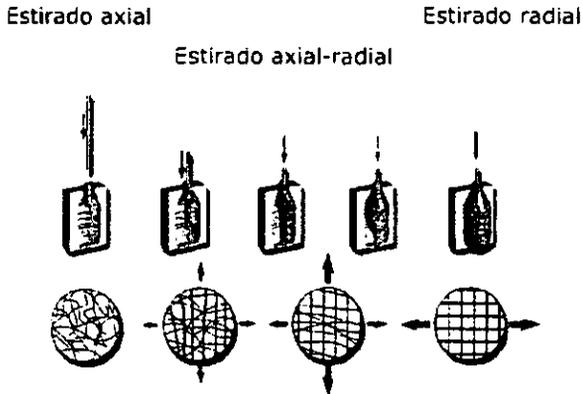


Figura 3.34 Biorientación de la preforma.

Para poder realizar la biorientación de la preforma, es necesario calentarla previamente hasta una temperatura entre 100 y 115°C, el proceso de calentamiento se lleva a cabo mediante lámparas infrarojas donde la temperatura es función del voltaje de las mismas.

El proceso de soplado consta de las siguientes etapas:

- Calentamiento
- Estirado
- Pre-soplado
- Soplado
- Desfogue
- Enfriamiento posterior

Los movimientos de la máquina sopladora son controlados por levas y pistones. Primeramente se realiza la alimentación de las preformas frías, la máquina cuenta con sistema de almacenamiento y carga que consiste en una banda inclinada que alimenta preformas continuamente desde una tolva hacia los rieles de entrada de la máquina, un sistema de rodillos orientadores posiciona la preforma de tal forma que la rosca quede arriba.

Las preformas frías son guiadas por los rieles de entrada de la máquina entre los cuales descienden por gravedad. El extremo inferior de la rampa comunica con un plato de alimentación en donde encajan las preformas, este plato de alimentación transfiere las preformas hacia la rueda del horno (Figura 3.35).

Al ingresar al horno lineal de calentamiento, las preformas van girando delante de lámparas infrarojas que se encargan de elevar su temperatura hasta aproximadamente 110°C.

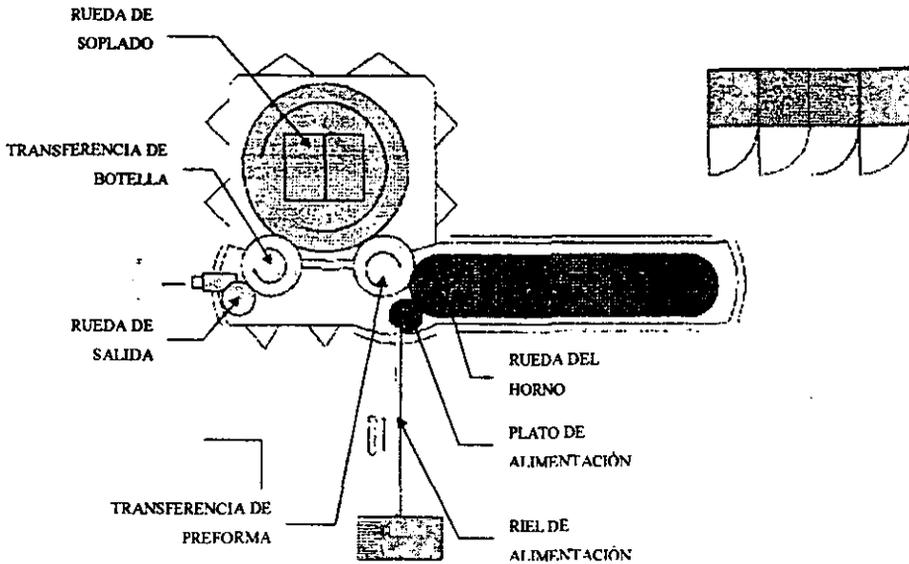


Figura 3.35 Entrada de la preforma a la máquina.

El horno está dividido en veinte módulos, cada uno con nueve zonas. La zona uno tiene una lámpara infraroja de 3000 W y el resto de las zonas de 2500 W (Figura 3.36). Los primeros diez módulos se denominan hornos de penetración, su potencia no se puede regular, es decir que trabajan al 100%. Los siguientes diez módulos se conocen como hornos regulables, ya que la potencia de las lámparas se puede regular, excepto la de la zona uno, que es constante. A la salida del horno una cámara infraroja toma lecturas de la temperatura de salida de las preformas y envía la información al autómata el cual se encarga de regular automáticamente el conjunto de las zonas regulables.

Las preformas dentro del horno se calientan con el cuello hacia abajo, para favorecer el calentamiento del cuerpo de las mismas. Esta posición evita deformar el cuello cuando se transfiere la preforma al molde, además una rampa de enfriamiento por agua protege el cuello de las preformas de los rayos infrarojos para evitar su deformación a lo largo del proceso.

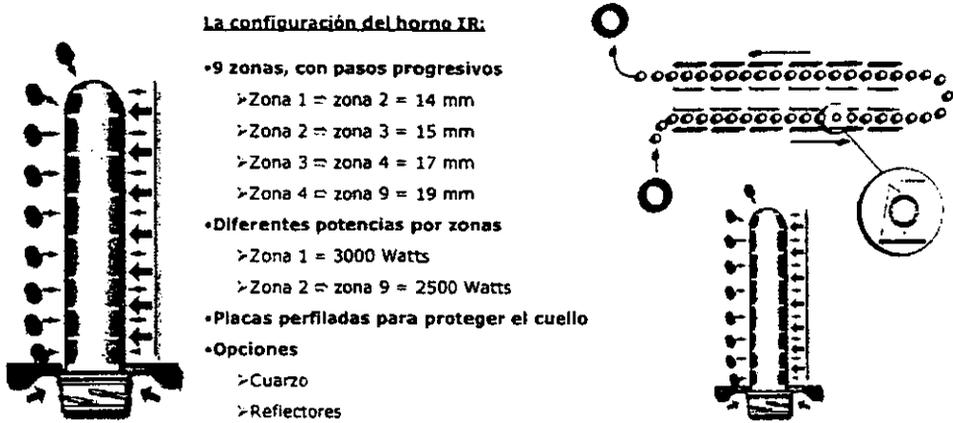
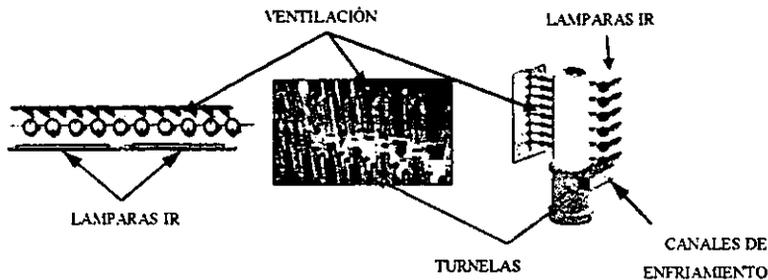


Figura 3.36 Distribución de las lámparas infrarojas en el horno.

Las preformas en rotación pasan delante de las lámparas infrarojas, unas pantallas reflectoras permiten mejorar la eficacia de la radiación de las lámparas infrarojas, la preforma alcanza una temperatura entre 95 y 115°C, dependiendo de las características de la preforma. Además un sistema de ventiladores colocados en la parte central del horno y en su eje, suministran aire que se canaliza mediante ductos hacia las preformas, para asegurar una repartición uniforme de la temperatura (Figura 3.37).



Combinación de rayos IR y ventilación :

- Penetración de IR hasta el centro de la preforma.
- Enfriamiento de la parte exterior de la preforma por medio de aire.

Figura 3.37 Calentamiento y ventilación de la preforma.

A la salida del horno los brazos de transferencia se encargan de transportar la preforma hacia la rueda de soplado y colocarla dentro del molde.

Cada brazo de transferencia está equipado con una pinza de dos pasadores articulados que toman la preforma por encima del anillo. La preforma así sujeta se transfiere por rotación del brazo de transferencia al molde de soplado.

El puesto de soplado es el encargado de transformar la preforma caliente en un envase, mediante el proceso de biorientación que consiste en:

- Estirado mecánico axial de la preforma caliente: se efectúa mediante una varilla de estirado.
- Soplado: asegura la orientación lateral, se efectúa en dos etapas, un presoplado a media presión y un soplado a alta presión. Ambas etapas son accionadas por una tobera.

Las operaciones de estirado, presoplado y soplado permiten obtener una distribución idéntica del espesor de las paredes de la botella producida por el molde.

Las operaciones de apertura y cierre de la unidad portamolde están aseguradas por un conjunto de bielass accionadas por el desplazamiento de un rodamiento sobre dos levas.

El bloqueo del molde se efectúa mediante un cerrojo mecánico, permite mantener en contacto las escuadras izquierda y derecha de la unidad portamolde durante las fases de presoplado y soplado. El desbloqueo permite separar la escuadra izquierda de la escuadra derecha antes de abrir la unidad portamolde para descargar las botellas y cargar las preformas. Tanto el bloqueo como el desbloqueo de cada unidad portamolde están asegurados mediante el desplazamiento de un rodamiento sobre levas.

Los moldes de envases para bebidas carbonatadas están formados por tres partes: la cara derecha, la cara izquierda y el fondo. Los movimientos de ambas caras están

controlados por las levas de apertura y cierre. La bajada del fondo de molde está controlada por una leva, ocurre justo después de la apertura del molde. Una segunda leva asegura la subida del fondo de molde antes del cierre del molde.

La varilla de estirado asegura el estirado mecánico axial de la preforma caliente y permite controlar los espesores de la botella, su movimiento es accionado por un pistón neumático y por el perfil de la leva de estirado (Figura 3.38). Una tobera sirve como guía para la varilla y además asegura la estanqueidad del aire. La tobera baja hasta ponerse en contacto con un anillo centrador en la parte superior del molde, asegurando así la estanqueidad de las presiones de presoplado y soplado, a continuación la varilla de estirado llega al fondo de la preforma caliente, en ese momento comienza el estirado activo, la varilla continúa su carrera definida por la leva de estirado y asegura la orientación axial de la preforma hasta el fondo del molde, en ese momento termina el estirado activo.

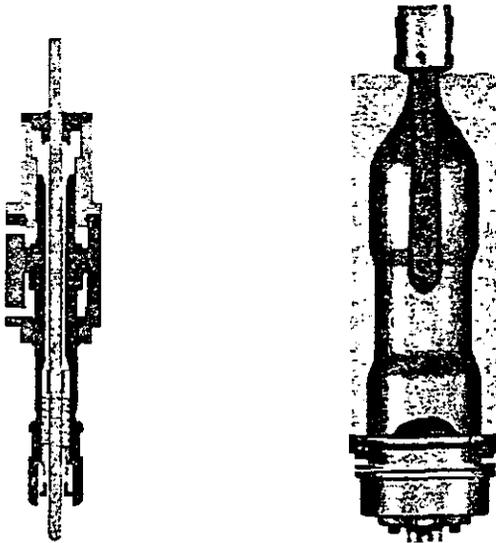


Figura 3.38 Detalle de la varilla de estirado y la preforma dentro del molde.

La sincronización del alargamiento y el presoplado está directamente vinculada al proceso de fabricación y se efectúan simultáneamente para evitar que la varilla se pegue a las paredes de la preforma.

La temperatura y la velocidad de estirado son factores muy importantes en las características finales de la botella. Una baja temperatura o una velocidad de estirado demasiado alta produce mayor resistencia mecánica y mayores esfuerzos internos, a este efecto se le denomina sobre-estirado. Por el contrario una velocidad de estirado baja o una temperatura demasiado alta produce menor resistencia mecánica y menores esfuerzos internos, se le conoce como sub-estirado (Figura 3.39). Un envase sobre-estirado será frágil a pesar de tener mayor resistencia mecánica, mientras que un envase sub-estirado presenta demasiada flexibilidad.

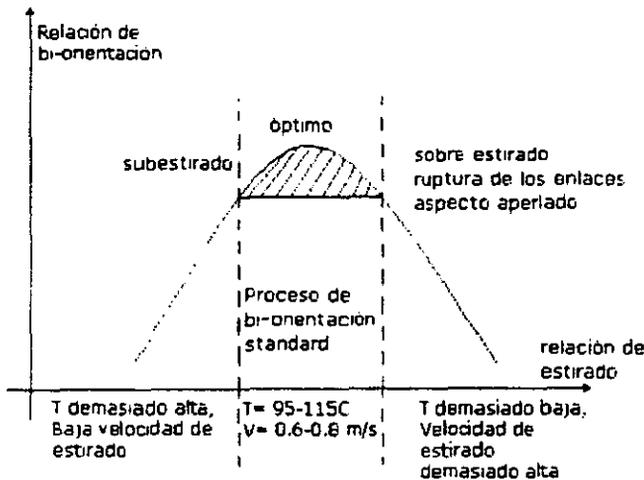


Figura 3.39 Sub-estirado y sobre-estirado de la preforma.

El soplado, que asegura la orientación radial y la distribución óptima del espesor de la pared del envase, se efectúa en dos etapas, a saber:

- Presoplado a presión media
- Soplado a alta presión

Durante la fase de estirado mecánico axial de la preforma comienza el presoplado, como se muestra en la Figura 3.40. El autómatas, de acuerdo a la posición que tiene de la varilla de estirado, dispara una electroválvula que permite alimentar el cilindro de la tobera y el aire a una presión de aproximadamente 13 bar circula hasta la tobera, proporcionando una primera orientación lateral a la preforma.

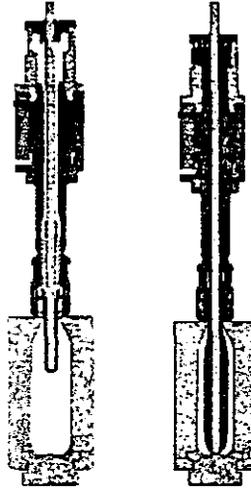


Figura 3.40 Estirado y presoplado.

El soplado, que determina la forma definitiva del producto, comienza justo después del presoplado y obliga al material a adoptar la forma del molde, utilizándose una presión de aproximadamente 38 bars (Figura 3.41). Nuevamente el autómatas activa una electroválvula que alimenta el cilindro de la tobera con aire a alta presión.

Debido a la acción de la alta presión, el molde tiende a abrirse por lo que se utiliza una compensación que consiste en aplicar la misma presión que se utiliza durante el soplado desde el exterior del molde.

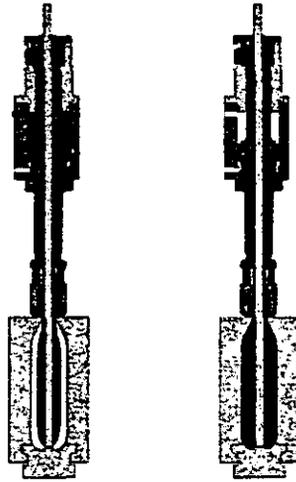


Figura 3.41 Soplado.

La desgasificación permite liberar al molde de los esfuerzos ocasionados por las presiones de soplado (Figura 3.42). Durante esta etapa, el automático activa una electroválvula que permite la evacuación del aire a través de un silenciador.

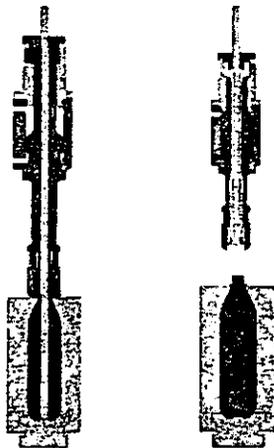


Figura 3.42 Desgasificación.

Conforme se realiza la desgasificación la tobera vuelve a subir, la unidad portamolde se abre y una rueda de transferencia asegura la toma de las botellas de los moldes para sacarlas del puesto de soplado. Este sistema es idéntico a la rueda de transferencia de las preformas.

La rueda de salida de botellas recibe las botellas presentadas por los brazos de transferencia y las posiciona en las guías de salida de la máquina. La salida de botellas puede conectarse con un sistema transportador.

Los armarios eléctricos: agrupan los órganos de potencia y de mando. Un autómata programable, ubicado dentro del armario, asegura el funcionamiento, control y mando de la máquina, la cual está equipada con una computadora personal de pantalla táctil conectada al autómata programable.

3.3.2. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA

En general una máquina de soplado, como la que se muestra en la Figura 3.43, sirve para la fabricación de envases de resina PET biorientados para el acondicionamiento de todos los líquidos, ya sean gaseosos o no. Sus principales funciones son las siguientes:

1. Un recalentamiento de las preformas.
2. Un estirado mecánico axial de las preformas.
3. Un estirado radial por pre-soplado.
4. Un soplado que le dé la forma final.

Y consiste principalmente de los siguientes elementos:

- Un alimentador de preformas.
- Un horno infrarojo lineal.
- Un conjunto rueda de soplado.

- Un puesto de mando y de control.
- Un circuito neumático de baja presión 7 bar.
- Un circuito neumático de alta presión 40 bar.
- Un circuito hidráulico.
- Un armario eléctrico.

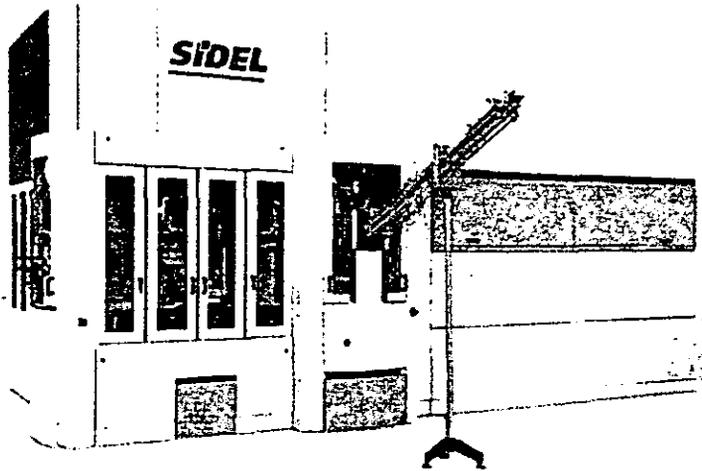


Figura 3.43 Vista general de una máquina sopladora SIDEL SBO20

A continuación se describe cada uno de los elementos antes mencionados.

Alimentación de las preformas

La máquina cuenta con una tolva en la cual se depositan las preformas, una banda transportadora las eleva hasta un sistema de rodillos que se encarga de orientarlas de tal manera que la rosca queda hacia arriba (Figura 3.44). Una vez orientadas, las preformas son guiadas por dos rieles inclinados entre los cuales bajan por gravedad. El extremo inferior de los rieles comunica con la rueda de carga de preforma.

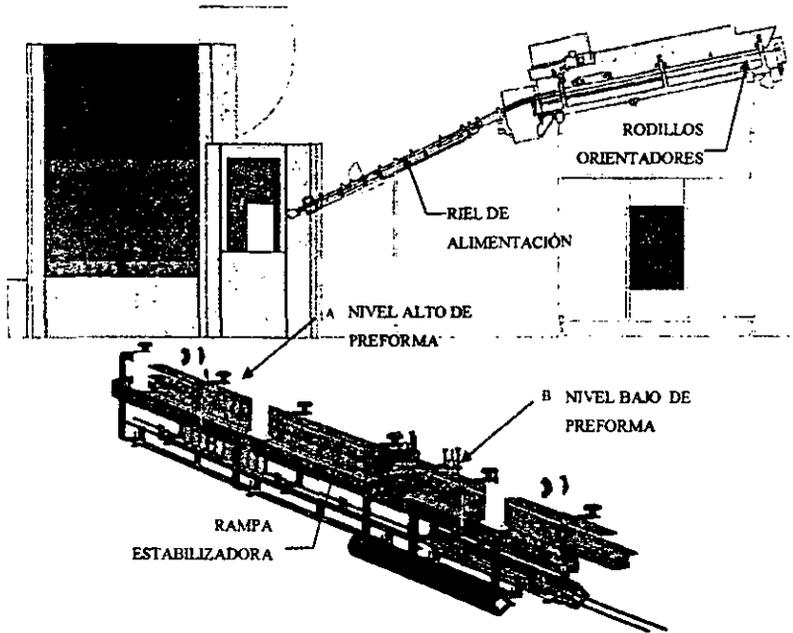


Figura 3.44 Alimentación de la preforma.

Cada riel tiene una rampa que se encarga de estabilizar la preforma a nivel de su cuerpo, la separación de los rieles se ajusta mediante unos tornillos.

Un sensor conocido como "sensor de nivel bajo preforma", controla la carga de las preformas sobre la rueda de carga (Figura 3.45). En cuanto el nivel de las preformas sobre el riel de alimentación pasa por debajo de dicho sensor, este acciona un cilindro neumático con un pasador, conocido como "dedo de parada preforma", y detiene así la carga de las preformas, bloqueando su paso hacia la rueda de carga. La carga de las preformas puede reanudarse únicamente si el nivel de las preformas en los rieles de alimentación alcanza la altura de otro sensor llamado "sensor de nivel alto preforma".

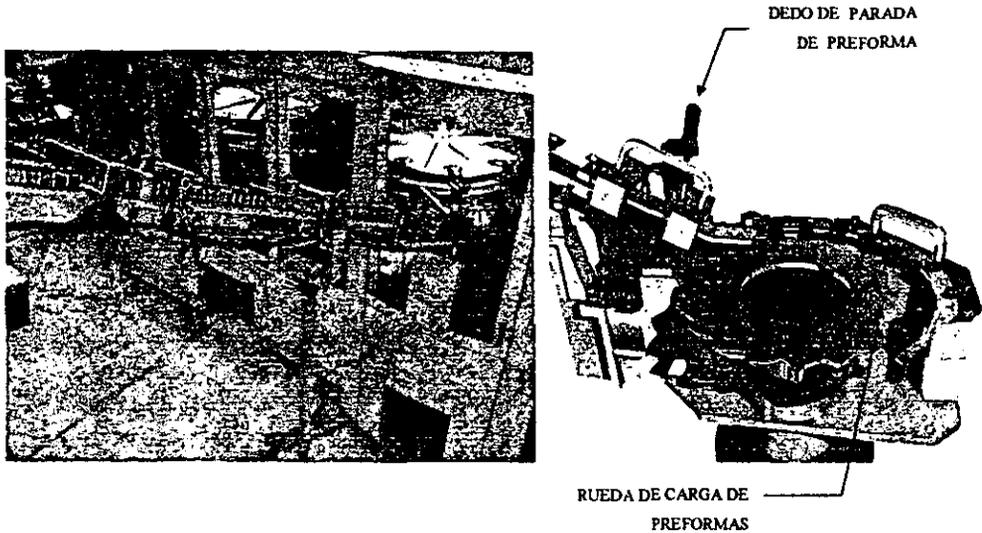


Figura 3.45 Vista de la alimentación de preformas y la rueda de carga.

Horno lineal infrarojo

El horno asegura el calentamiento de las preformas antes de su transferencia a la rueda de soplado. Consiste esencialmente de: chasis, rueda de carga de preformas, rueda del horno, rueda tensor, rampa de volteo lado de entrada, rampa de volteo lado de salida, cadena de turnelas y módulos de calentamiento.

Las preformas procedentes del riel se encajan en las muescas de la rueda de carga y son transportadas hacia la rueda del horno. El sensor de sincronismo de carga da la señal de carga y asegura el sincronismo entre la liberación del dedo de parada preforma y la entrada de la primera preforma en la rueda de carga. Los anillos de las preformas descansan por un lado sobre la rueda de carga y por otro sobre una guía escamoteable. Cuando una preforma ha sido mal posicionada en la entrada del plato, esta choca con la guía escamoteable, un sensor detecta el movimiento de la guía y manda una señal al autómatas para que accione el escamoteo de la guía (Figura 3.46). El tiempo de escamoteo,

de 4 a 5 segundos, permite la eyección de unas cuantas preformas. En cuanto la guía regresa a la posición inicial, se reanuda la alimentación de las preformas. Los moldes sin preformas no son sometidos ni a presoplado ni a soplado. En caso de un esfuerzo anormal sobre el plato de alimentación, un limitador de par se dispara provocando la parada de la máquina.

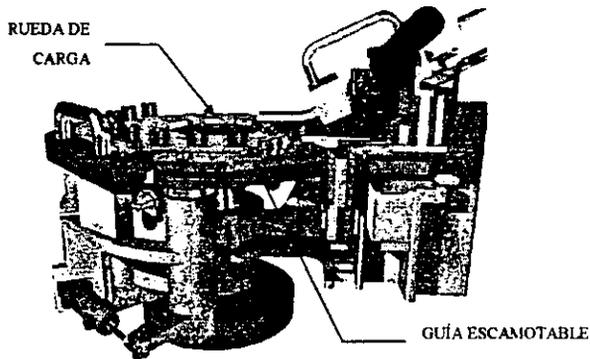


Figura 3.46 Guía escamotable.

La rueda del horno asegura la transferencia de las preformas del plato de alimentación hacia el horno, así como el arrastre de la cadena de turnelas, estas últimas se encargan de trasladar la preforma a lo largo del horno.

Los principales componentes de la rueda del horno son (Figura 3.47):

- Rueda de muescas: se encuentra en la parte media y asegura el arrastre de la cadena de turnelas.
- Rueda fija: soporta esencialmente la corona de orientación, la leva de vestido, la leva de desvestido y la contraleva.
- Un plato de alimentación: se encuentra en la parte inferior, sobre el descansa el collarín de las preformas.

- Horquillas: engranan con las turnelas y definen la posición alta o baja de la nariz de la turnela según van pasando por las levas de vestido y desvestido, un rodamiento asegura el movimiento de la horquilla sobre las levas de vestido y desvestido.
- Un resorte de compresión asegura la presión necesaria para introducir la nariz de la turnela en el cuello de la preforma.

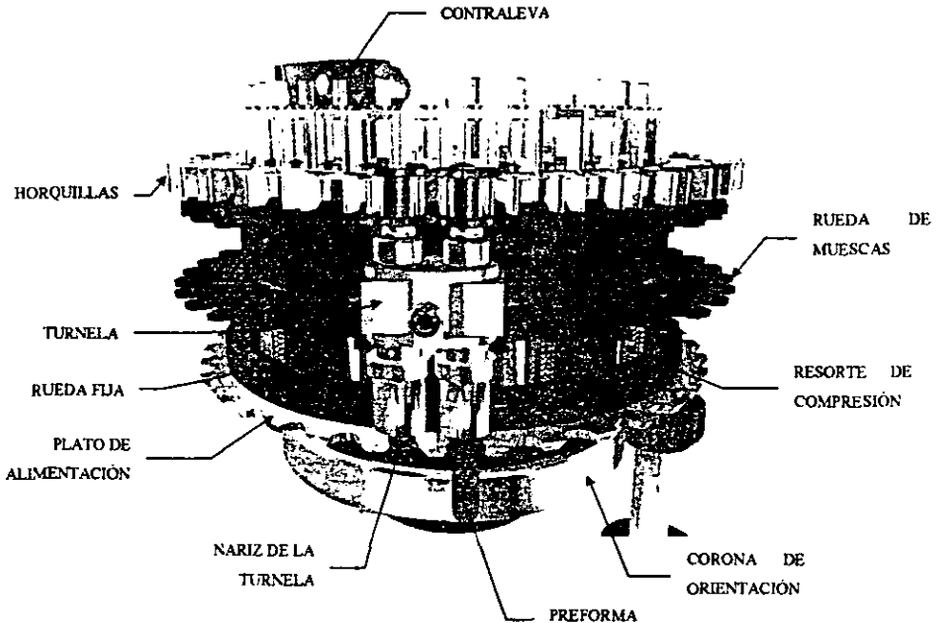


Figura 3.47 Rueda del hombre.

Las preformas dispuestas en la rueda de carga se transfieren por rotación al plato de alimentación. Las horquillas mantienen el eje de la turnela en posición alta, con una holgura entre el borde del cuello de la preforma y la punta de la turnela que puede llegar hasta 5mm. El rodamiento de la horquilla se desplaza sobre la leva de vestido (Figura 3.48), al final de la leva, el resorte se expande y la horquilla baja, arrastrando el eje de la turnela hacia abajo. La nariz de la turnela, montada en el eje de la turnela, penetra en el cuello de la preforma.

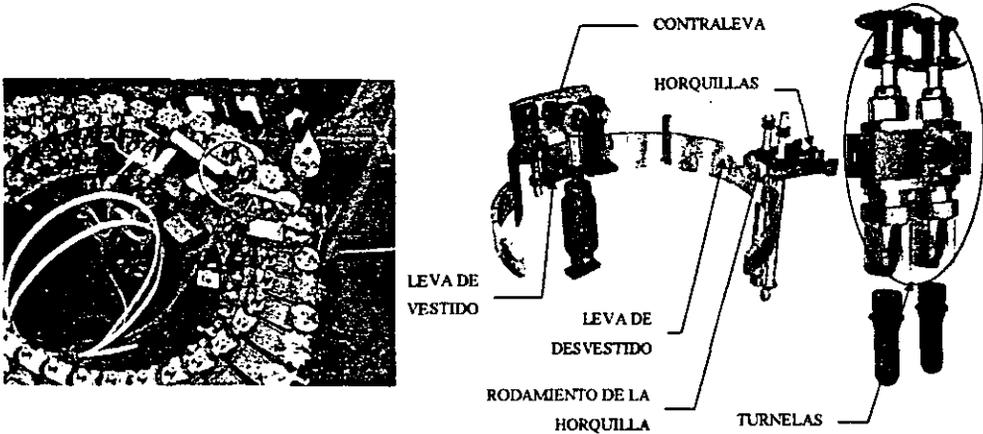


Figura 3.48 Leva de vestido y desvestido de preforma.

En caso de esfuerzo anormal en el momento del vestido de la preforma, el rodamiento de la horquilla topa con la contraleva, un sensor detecta el ligero movimiento y envía la señal al autómata que se encarga de activar el sistema de eyección. Este sistema consiste en dos levas que se colocan en posición alta cuando el autómata lo indica, la primera leva de eyección provoca la subida de la horquilla que a su vez arrastra el eje de la turnela hacia arriba (Figura 3.49). Se libera entonces la preforma y cae en una canaleta de recolección, la siguiente preforma también es eyectada debido a la acción de la segunda leva. Una boquilla de aire (7 bar) ayuda a eyectar las dos preformas.

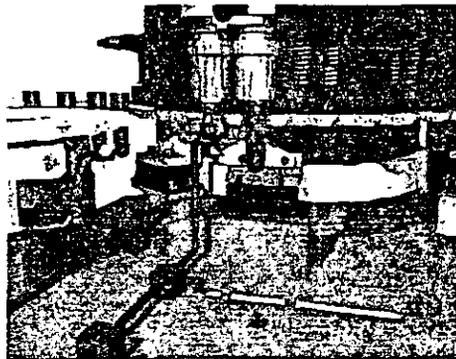


Figura 3.49 Sistema de eyección de preforma defectuosa.

La cadena de turnelas transporta las preformas en el horno y asegura el volteo de las mismas de 180° a la entrada y 180° a la salida del horno. Sus principales funciones son:

- Asegurar la toma de las preformas de la rueda del horno.
- Asegurar el volteo de las preformas a la entrada y la salida del horno.
- Asegurar el paso de las preformas delante de los módulos de calentamiento.
- Poner en rotación las preformas para obtener una distribución homogénea de la temperatura.

La cadena de turnelas consiste en varios conjuntos turnelas articulados entre sí mediante dos piezas denominadas "cubeta" y "copela" (Figura 3.50). Cada conjunto turnela tiene dos turnelas acopladas mediante un eslabón exterior. La cubeta tiene un asiento que alberga un rodamiento y la copela tiene un eje, que se ensambla en el rodamiento de la cubeta del siguiente conjunto turnela, lo que forma así una articulación entre cada conjunto. El eslabón exterior tiene dos rodamientos, uno a cada lado, los cuales corren sobre las rampas de volteo.

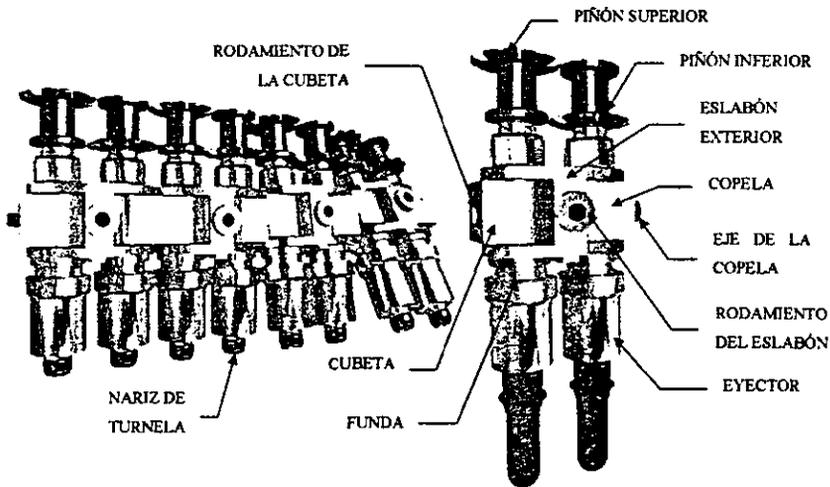


Figura 3.50 Cadena de turnelas y conjunto turnela.

El conjunto turnela (Figura 3.51) tiene un piñón inferior sobre el eje de una de las turnelas y un piñón superior sobre el eje de la otra turnela los cuales aseguran la rotación de la turnela sobre su eje engranándose sobre dos cadenas fijas situadas a lo largo del horno, de esta manera se asegura un calentamiento homogéneo de la preforma. Una rueda en la parte posterior del horno sirve como tensor para las cadenas.

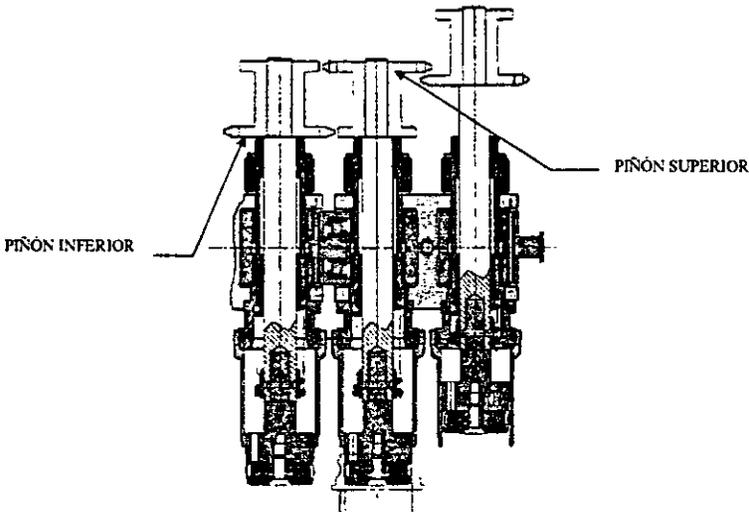


Figura 3.51 Vista transversal de un conjunto turnela.

En la parte inferior de la turnela se encuentra una funda que alberga la nariz de la turnela, la cual asegura la toma de la preforma. La nariz tiene un anillo elástico que permite tomar la preforma por el interior del cuello y un eyector .

Una vez sujeta la preforma en la nariz de la turnela y posicionada con el cuello hacia abajo, ingresa al horno infrarrojo, cuya función es calentar las preformas a una temperatura comprendida entre 95 y 115°C para después pasar a la etapa de estirado y soplado.

A la entrada del horno, una rampa de volteo hace girar 180° las turnelas para asegurar el calentamiento del cuerpo de las preformas (Figura 3.52). En la salida del horno una segunda rampa de volteo gira nuevamente las turnelas para llevar las preformas cuello arriba antes del desvestido.

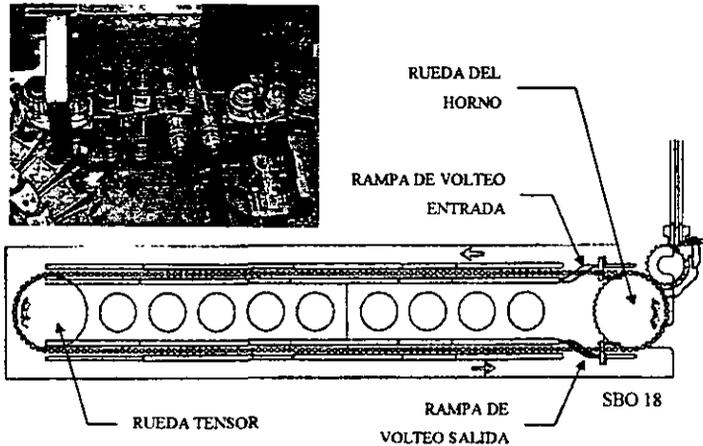


Figura 3.52 Vista superior de un horno lineal (SBO 18).

Para calentar las preformas se utilizan módulos con lámparas infrarojas, el número de módulos depende de la capacidad de la máquina, en este caso se hará referencia a una máquina con veinte módulos, cada uno de ellos equipados con nueve lámparas de 2500 y 3000 W. La cantidad y la potencia de las lámparas depende del tipo de preforma a procesar. Las lámparas se montan en bastidores a ambos lados del horno. Los bastidores permiten el desplazamiento conjunto de las lámparas en altura y profundidad. Las lámparas están sujetas por los extremos en un mismo plano mediante una caja ranurada. Una tapa corrediza protege los extremos de las lámparas de los rayos infrarojos.

Los primeros diez módulos se encuentran en un lado del horno y no se pueden regular, es decir que la potencia de las lámparas funciona al 100% (Figura 3.53). Los otros diez módulos, que se encuentran en el otro extremo, cuentan con lámparas

regulables lo que permite regular su potencia, logrando así un control en el calentamiento de la preforma. Cada lámpara corresponde a una zona, cada módulo cuenta con nueve zonas que son reguladas por el operador. Frente a las lámparas se encuentran unas placas reflectoras que reflejan parte de los rayos infrarojos mejorando la capacidad de calentamiento del horno. A la salida del horno, una cámara infraroja detecta la temperatura de la preforma y autoregula la potencia de las lámparas de acuerdo al perfil de temperatura indicado por el operador.

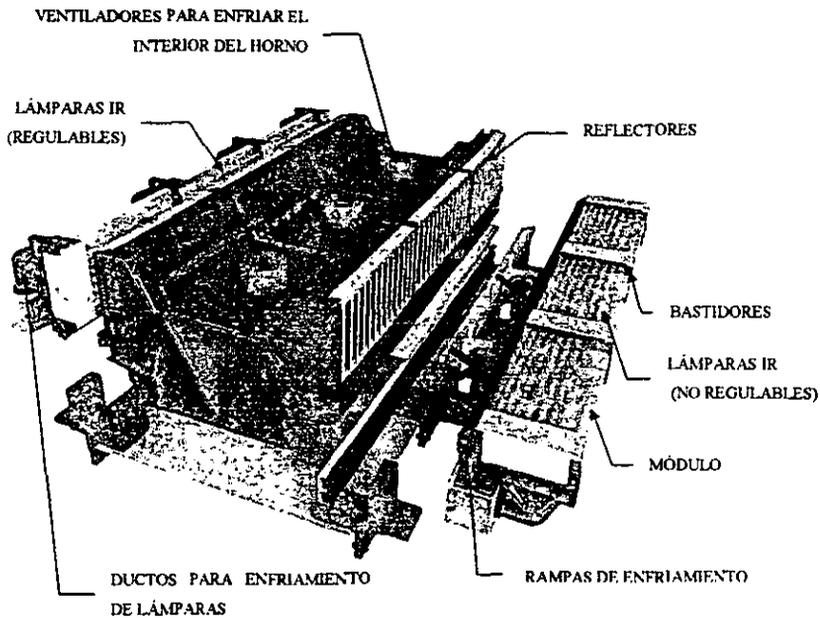


Figura 3.53 Vista general del horno lineal.

Los extremos de las lámparas deben mantenerse a una temperatura inferior a 250°C. Dos ventiladores montados en la parte delantera y posterior del horno respectivamente, suministran aire a través de ductos que se encuentran en la parte inferior de los bastidores (Figura 3.54). Cada módulo del horno está ventilado a través de una derivación, con el objeto de enfriar los extremos de las lámparas.

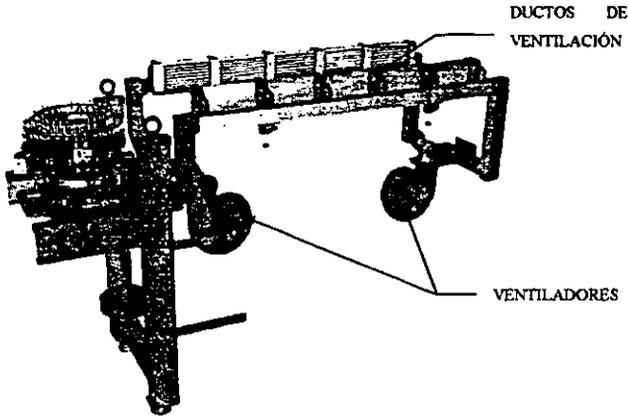


Figura 3.54 Ventilación de los extremos de las lámparas IR.

Las preformas se calientan con el cuello hacia abajo, para favorecer el calentamiento del cuerpo, esta posición evita deformar el cuello cuando se transfiere la preforma al molde. El cuello de las preformas está protegido de la radiación de las lámparas mediante un sistema de rampas de enfriamiento por agua (Figura 3.55). Las rampas se pueden ajustar para colocarlas lo más cerca posible a la preforma.

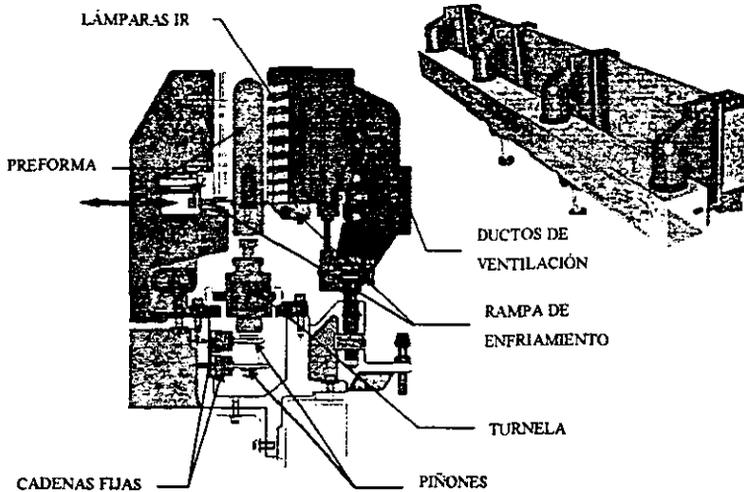


Figura 3.55 Sistema de enfriamiento de preforma y de ventilación de lámparas IR.

Como se mencionó anteriormente, el movimiento de rotación de las turnelas es producido por el engranado del piñón superior y del piñón inferior de las turnelas sobre las dos cadenas. Las preformas en rotación desfilan delante de las lámparas infrarojas y las placas reflectoras.

Un sistema de ventilación formado por diez ventiladores, ubicado en la parte superior del horno, ayuda a mantener el interior del horno a una temperatura adecuada para las piezas mecánicas.

En la salida del horno, las turnelas giran nuevamente 180° al pasar por la rampa de volteo, las horquillas de la rueda del horno toman los conjuntos turnela por su eje. La horquilla mantiene el eje de la turnela a nivel del piñón, el rodamiento de la horquilla corre sobre la leva de desvestido obligándolo a subir. La nariz de la turnela, montada en el extremo del eje sube y la preforma, a tope contra el eyector, se libera de la turnela. Una vez liberada, un brazo de transferencia la toma y la lleva hacia los moldes de soplado.

Conjunto de las transferencias

El conjunto de las transferencias, que se muestra en la Figura 3.56 está constituido de los siguientes elementos:

- Rueda de transferencia de preformas
- Rueda de transferencia de las botellas.
- Rueda de salida de botellas.

La rueda de transferencia de preformas (Figura 3.57) soporta los brazos de transferencia de preformas y asegura el transporte de las preformas de la rueda del horno hacia la rueda de soplado. La rueda de transferencia de botellas soporta los brazos de transferencia de botellas y asegura el transporte de las botellas de la rueda de soplado hacia la rueda de salida de botellas.

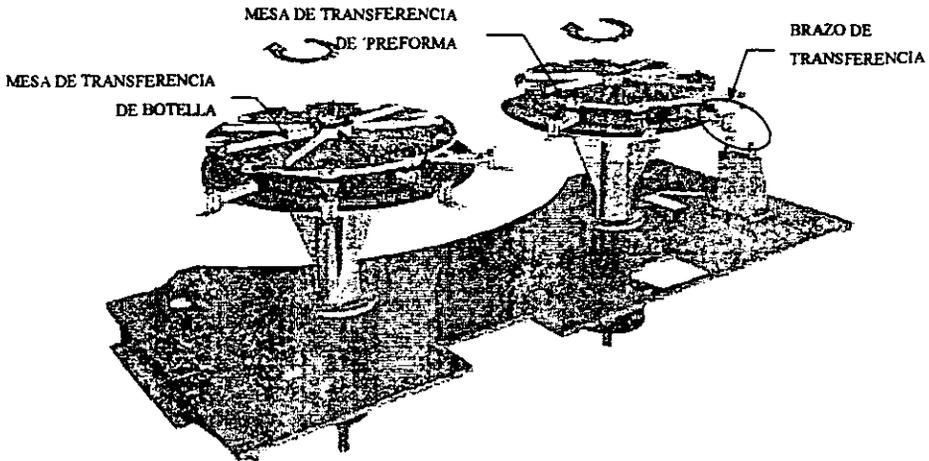


Figura 3.56 Vista general de las ruedas de transferencia.

La rueda de transferencia de preformas está equipada con brazos que aseguran el paso de las preformas calientes de la salida del horno hacia los moldes de soplado. Un plato sirve como soporte para los brazos de transferencia.

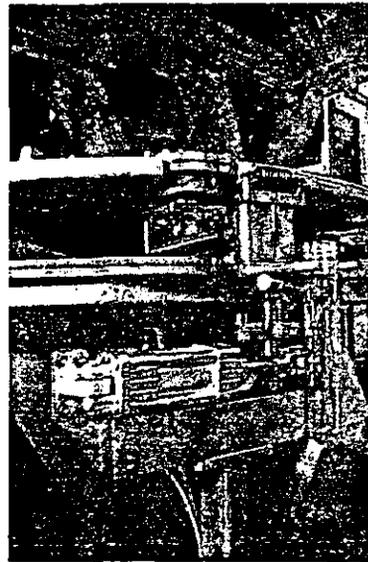
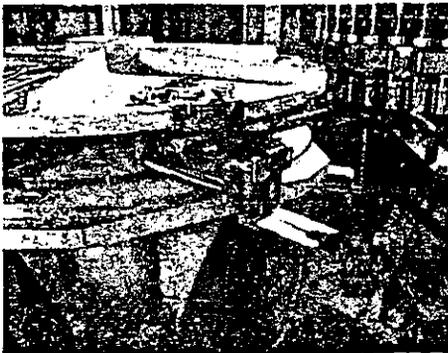


Figura 3.57 Vistas de la rueda de transferencia de preforma.

Cada brazo cuenta con una pinza con dos pasadores articulados que se encargan de tomar la preforma por arriba del anillo cuando la rueda de alimentación del horno la libera. La preforma así sujeta se transfiere por rotación hacia el molde de soplado (Figura 3.58).

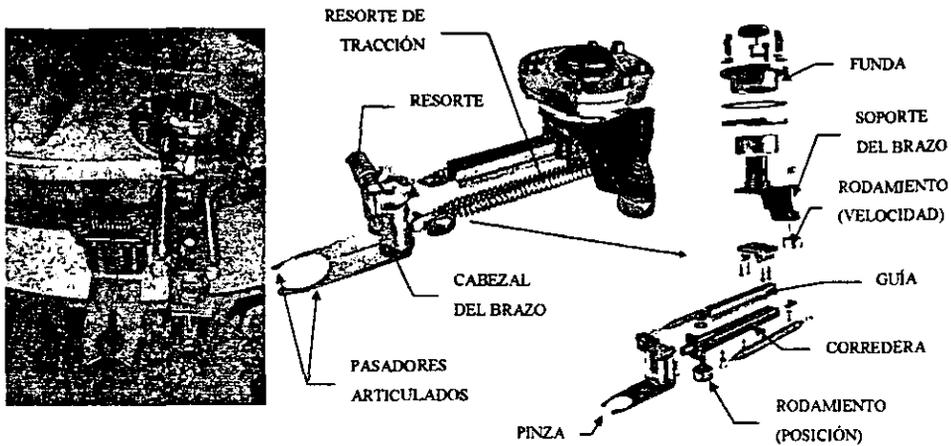


Figura 3.58 Brazo de transferencia.

La rueda de transferencia tiene unas fundas, dentro de las cuales se acopla el soporte del brazo. En la parte inferior del soporte se encuentra una corredera y del lado derecho del soporte se encuentra un rodamiento que corre sobre una leva interior conocida como "leva de velocidad", la cual se encarga de controlar la posición angular del brazo de transferencia. Dentro de la corredera una guía permite el movimiento del brazo hacia delante y hacia atrás. La guía va acoplada al cabezal del brazo de transferencia, en su parte inferior tiene un rodamiento que corre sobre la "leva de posición", accionando así la traslación del brazo. La circulación del rodamiento sobre la leva de posición manda la traslación de la corredera para asegurar las posiciones relativas al tomar y descargar las preformas (Figura 3.59).

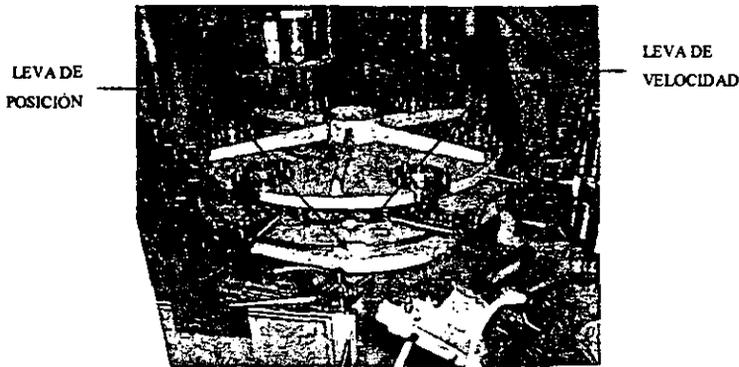


Figura 3.59 Levas de posición y velocidad.

El cabezal del brazo de transferencia tiene un cuerpo en el que se acoplan las pinzas. Un resorte montado en la parte superior del cabezal se encarga de generar la presión de cierre de las pinzas. Dos resortes de tracción, uno a cada lado de la parte externa del cuerpo, acompañan el movimiento de circulación del rodamiento sobre la leva de posición.

La rueda de transferencia de botellas se encarga de tomar las botellas de los moldes y depositarlas sobre el plato de la rueda de salida, se trata de un conjunto idéntico a la rueda de transferencia de preformas.

La rueda de salida de botellas consta de un plato de muescas y de guías en las que descansan las botellas. Después de las guías de salida se puede añadir un dispositivo de transporte neumático que permite transportar las botellas hacia un puesto dirección abajo (Figura 3. 60).

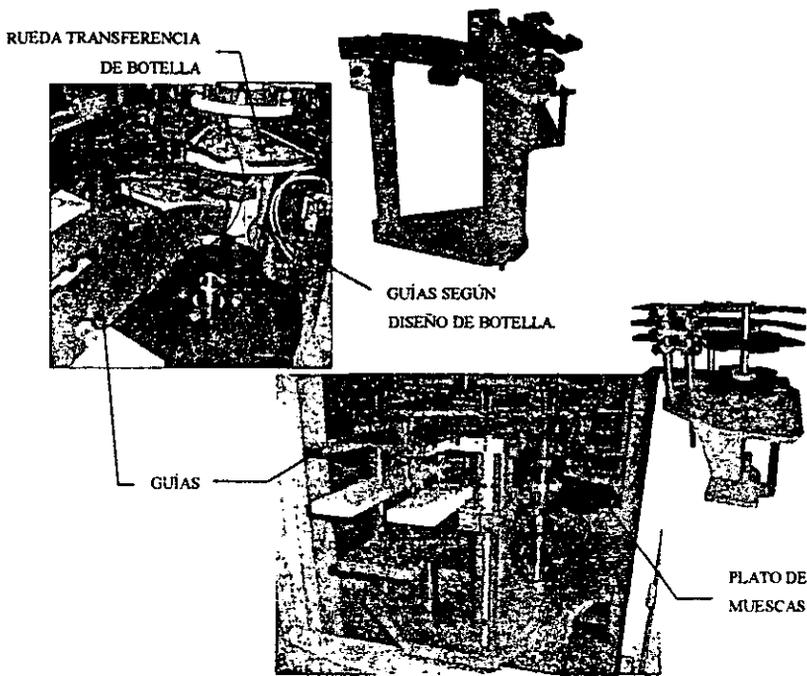


Figura 3.60 Salida de botella.

Rueda de soplado

La rueda de soplado, que se ilustra en la Figura 3.61, asegura la transformación de la preforma caliente en botella mediante un procedimiento de orientación doble: estirado mecánico (orientación axial) y soplado (orientación lateral).

Esta dividida en dos secciones: parte fija y parte móvil. La parte fija de la rueda de soplado soporta y asegura la conexión entre los principales órganos de la máquina. La parte móvil de la rueda de soplado soporta los puestos de soplado y asegura la transformación de la preforma en botella.

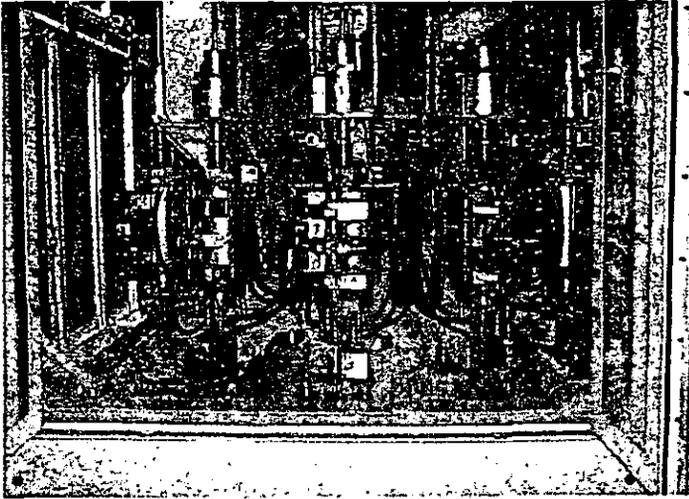


Figura 3.61 Vista general de la rueda de soplado.

Puesto de soplado

El puesto de soplado asegura la transformación de la preforma caliente al estado de botella terminada (Figura 3.62).

Se compone de un conjunto de estirado, que constituye la parte superior del puesto de soplado, y un conjunto consola, que constituye la parte inferior.

El conjunto de estirado se encarga del estirado mecánico axial (alargamiento) y del estirado lateral (presoplado/soplado) de la preforma. Asimismo controla la desgasificación de la botella en el molde.

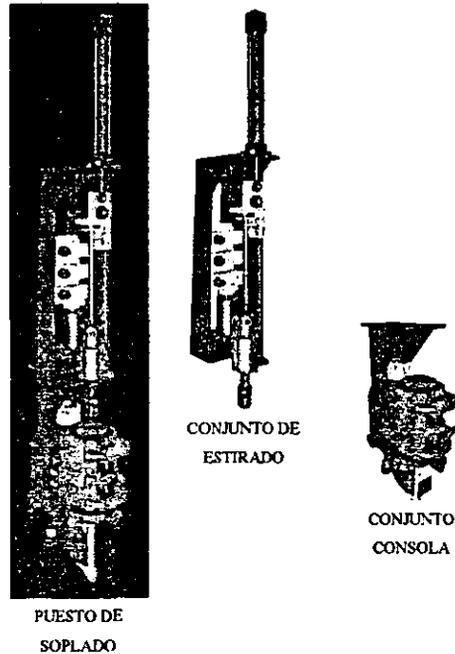


Figura 3.62 Puesto de soplado.

Los principales componentes del conjunto de estirado son (Figura 3.63):

- Soporte: permite fijar el puesto de soplado a la rueda móvil.
- Cilindro de estirado: se trata de un pistón neumático encargado de accionar la corredera.
- Corredera de estirado: es el elemento que asegura el guiado y determina la carrera de la varilla de estirado. Tiene un rodamiento que corre sobre la leva de bajada estirado, asegurando así el movimiento de la corredera. Un mango permite embragar la varilla de estirado a la corredera la cual continúa su carrera definida por la leva de bajada estirado. La parte inferior de la corredera cuenta con un amortiguador que evita los choques al final de la carrera de bajada y un tope que limita la carrera de bajada de la corredera.

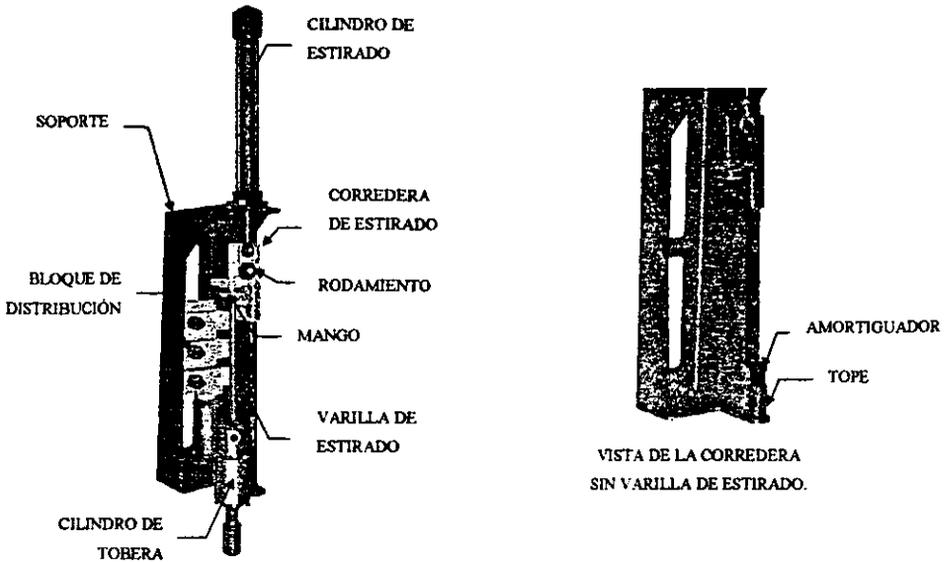


Figura 3.63 Conjunto de estirado y vista de la corredera de estirado.

- Leva de seguridad subida y bajada de estirado (Figura 3.64): este conjunto asegura el guiado del estirado mecánico axial de la preforma (leva de bajada de estirado) y permite, en caso de incidente en los cilindros de alargamiento, la subida mecánica de la varilla de estirado (leva de seguridad subida de estirado).

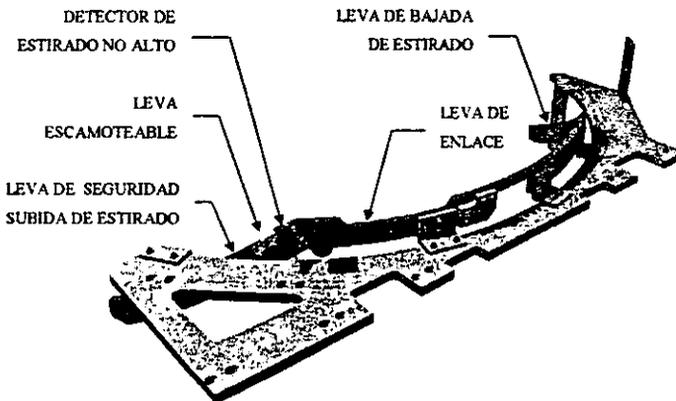


Figura 3.64 Leva de seguridad subida y bajada de estirado.

Una leva escamotable asegura la subida mecánica de la varilla de estirado, mediante el rodamiento de la corredera, en caso de mal funcionamiento. Un detector de estirado no alto, colocado sobre la leva escamotable provoca la parada de la máquina cuando el rodillo de la corredera de estirado se pone en contacto con dicha leva. Otra leva sirve de enlace entre la leva escamotable y la leva de bajada de estirado, esta última permite guiar y controlar la velocidad de estirado mediante el rodamiento de la corredera.

- Bloque de distribución (Figura 3.65): asegura la distribución de las presiones de presoplado, soplado y desgasificación en el cilindro de la tobera mediante electroválvulas. Presenta un orificio de alimentación de aire de soplado, un orificio de alimentación de aire de presoplado, un orificio de alimentación neumático del bloque, una salida de alimentación tobera campana y un silenciador para reducir las emisiones sonoras durante la desgasificación.

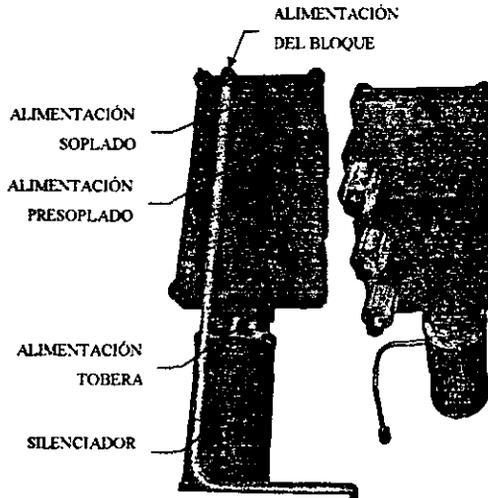


Figura 3.65 Bloque de distribución.

- Cilindro de tobera (Figura 3.66): distribuye las presiones de presoplado y soplado en la preforma caliente que se encuentra dentro del molde y asegura el retorno de la presión de desgasificación. La parte inferior del cilindro está controlada mediante un pistón el cual permite la subida y la bajada de la tobera así como el guiado de la varilla de alargamiento. La parte superior reúne las presiones de presoplado y soplado (13 y 40 bar respectivamente), una tapa superior asegura la estanqueidad entre el cuerpo superior y la varilla de estirado. La tobera campana recubre el gollete de la preforma que se encuentra apoyada en el molde, una junta de tobera asegura la estanqueidad entre la tobera y el molde. La varilla de estirado corre en el interior del cilindro de la tobera el cual sirve como guía para la varilla de estirado y proporciona las presiones de presoplado y soplado necesarias para el estirado lateral de la preforma.

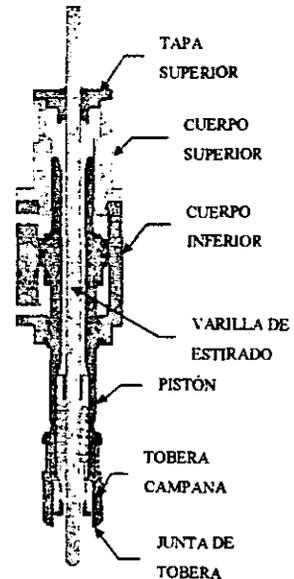
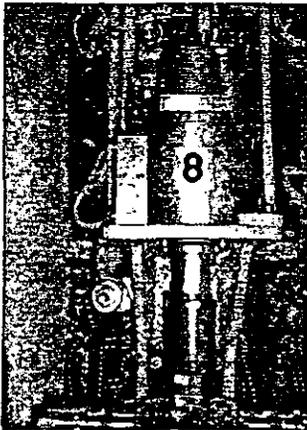


Figura 3.66 Cilindro de tobera.

El conjunto consola constituye la parte inferior del puesto de soplado y soporta la gran unidad portamolde (GUPM) y el fondo de molde.

La GUPM permite alojar el portamolde y el molde del envase, está montada en una consola fijada en la rueda móvil (Figura 3.67). Está articulada a la rueda mediante una bisagra con rodamientos de agujas, esta bisagra permite el movimiento de apertura y cierre del molde.

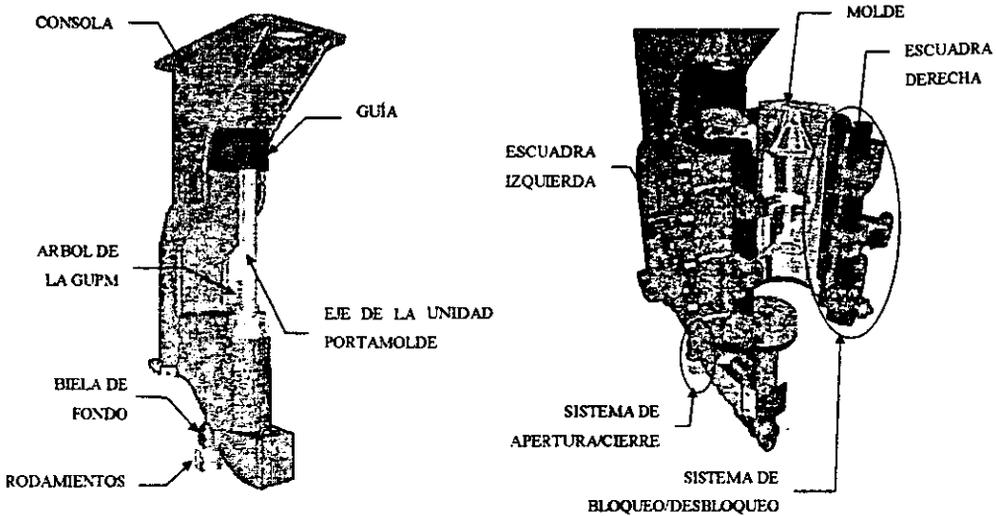


Figura 3.67 Gran Unidad Porta Molde (GUPM).

Los principales componentes de la GUPM son:

- Escuadra derecha: permite fijar la cara derecha del molde.
- Escuadra izquierda: permite fijar la cara izquierda del molde. Está equipada con un sistema de compensación que contrarresta la tendencia del molde a abrirse debido a la acción de la presión del aire dentro del mismo (Figura 3.68). Una junta alojada entre la cara izquierda del molde y la escuadra izquierda delimita la cámara de compensación, la cual recibe aire a la misma presión que el aire dentro del molde (presoplado y soplado), ayudando a mantener así el molde cerrado.
- Sistema de apertura/cierre: la parte inferior de la GUPM tiene el mando de apertura/cierre de molde, el cual permite el movimiento de articulación de la escuadra derecha y de la escuadra izquierda.

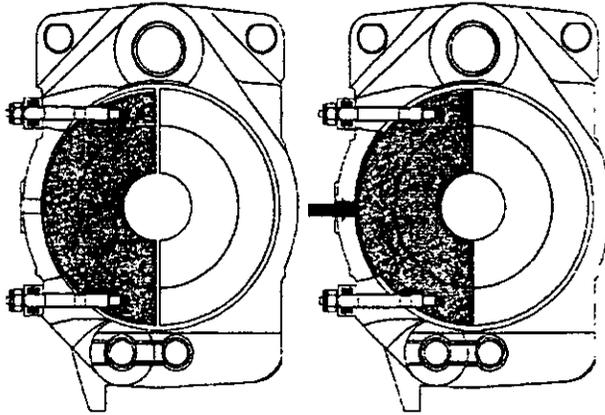


Figura 3.68 Sistema de compensación

Consta de dos ejes de fijación de bielas, uno para cada biela, las cuales efectúan el movimiento de apertura/cierre de las escuadras. Una biela maestra se encarga de gobernar las dos bielas mencionadas anteriormente, gracias a la acción de dos rodamientos que circulan sobre las levas de apertura/cierre de molde (Figura 3.69). El rodamiento inferior acciona el cierre y el superior acciona la apertura, ambos rodamientos se encuentran montados en la parte inferior de la biela maestra. El sistema tiene tres levas: una leva inferior, una leva superior y una leva escamoteable que se acciona en caso de un esfuerzo excesivo al cerrarse la unidad portamolde. Al pasar los rodamientos sobre las levas, la biela maestra gira arrastrando las otras dos bielas, lo que provoca la apertura y el cierre de la unidad portamolde. El movimiento se transmite de la siguiente manera:

1. Desde el rodamiento a la biela maestra.
2. Del eje de la biela maestra a las dos bielas superiores.
3. De las bielas superiores a las escuadras de la GUPM para que el molde se abra simétricamente.

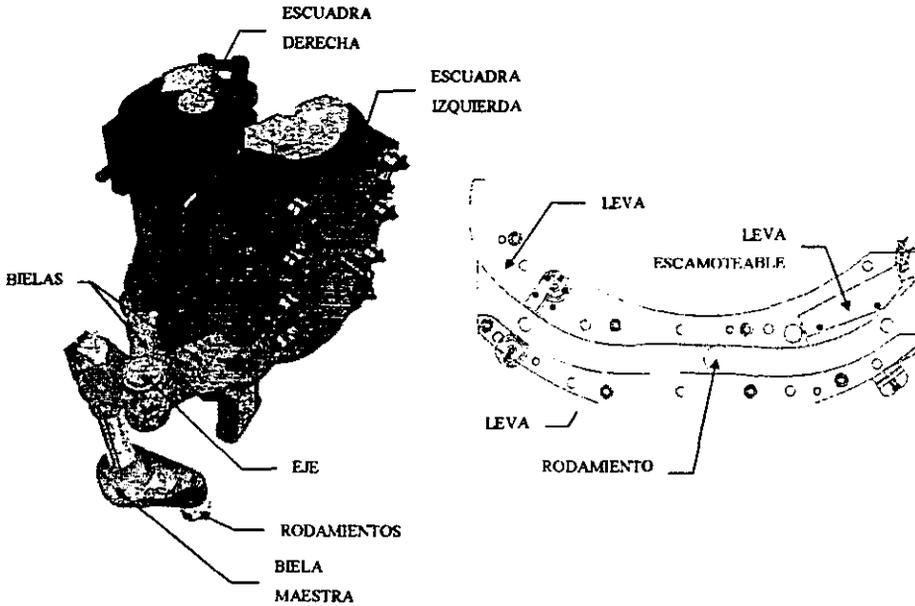


Figura 3.69 Sistema de apertura/cierre.

- Sistema de bloqueo/desbloqueo: se encuentra montado en la parte frontal de la GUPM, asegura el bloqueo de la unidad portamolde antes de la fase de presoplado de la preforma y su desbloqueo antes de su apertura. El bloqueo permite mantener las escuadras izquierda y derecha en contacto durante las fases de presoplado y de soplado (Figura 3.70). El desbloqueo permite separar la escuadra izquierda de la escuadra derecha antes de abrir la unidad portamolde para descargar la botella y cargar las preformas. El sistema de bloqueo/desbloqueo consta de un árbol montado en la escuadra derecha, que transmite el movimiento de subida/bajada a los dedos de bloqueo. Los dedos se fijan al árbol mediante varillas de enlace y se deslizan en los anillos de la escuadra izquierda. Un rodamiento, localizado en la parte inferior del árbol, asegura el movimiento de bajada o subida del conjunto árbol y dedos de bloqueo y un resorte asegura el contacto permanente del rodamiento sobre las levas encargadas del bloqueo y desbloqueo. Un amortiguador evita los choques en el

momento de cerrarse la unidad portamolde. El conjunto de la leva de bloqueo determina por su posición y por su perfil el bloqueo de la unidad portamolde provocando la bajada del rodamiento y por consiguiente del conjunto árbol y dedos de bloqueo, estos últimos se deslizan en los anillos de la escuadra izquierda bloqueando así el molde.

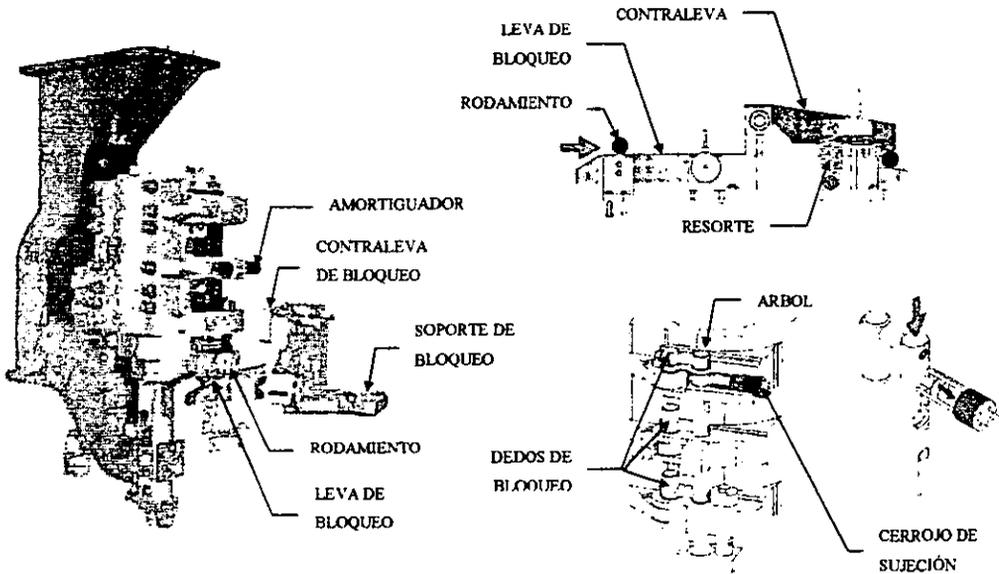


Figura 3.70 Conjunto de bloqueo.

El conjunto de bloqueo consta de una leva de bloqueo y una contraleva que se mantiene en posición mediante un resorte de tracción. Un detector de posición monitorea la contraleva, un cambio de posición de la contraleva indica un esfuerzo anormal en bloqueo del molde y genera un paro crítico de la máquina, pues si el rodamiento viene más arriba se debe a que el molde no fue bloqueado correctamente y el proceso no puede proseguir. El conjunto leva de desbloqueo determina por su posición y por su perfil el desbloqueo de la unidad portamolde, consta únicamente de una leva de desbloqueo que provoca la subida del rodamiento y por consiguiente del

árbol y de los dedos de bloqueo, los cuales suben y salen de los anillos de la escuadra izquierda permitiendo el desacople de ambas escuadras (Figura 3.71).

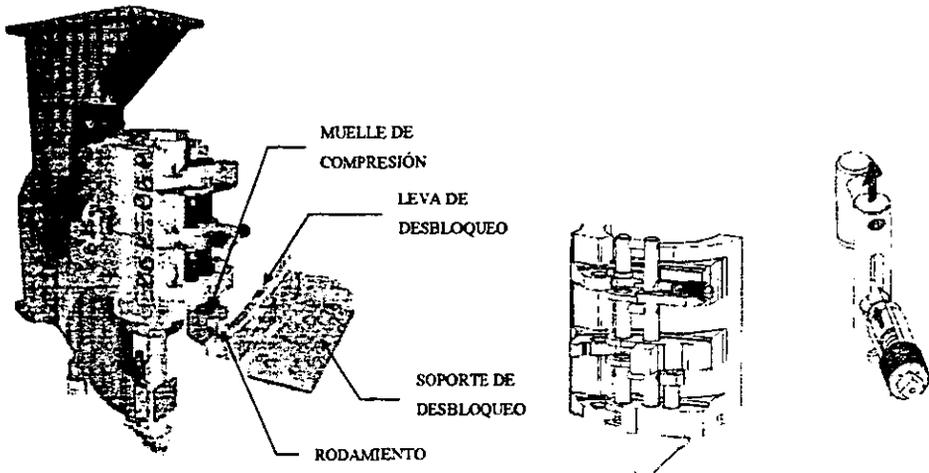


Figura 3.71 Conjunto de desbloqueo.

- **Conjunto fondo del molde:** constituye la parte inferior de la unidad portamolde y sirve para llevar a cabo los movimientos de subida y bajada del fondo del molde (Figura 3.72). Está formado por una platina-soporte neumática que asegura el montaje y desmontaje rápido del fondo del molde, esta platina se encuentra en un soporte que corre sobre una guía la cual sirve de corredera para los movimientos de subida y bajada del conjunto fondo del molde. Un rodamiento de bolas, montado en la parte inferior del soporte del fondo, circula en las levas de subida y de bajada fondo de molde controlando así la subida y la bajada del fondo, dos tornillos sirven como topes (tope alto y tope bajo). Tanto la leva de subida como la de bajada fondo de molde, se encuentran montadas en soportes leva y se accionan mediante un cilindro neumático. La leva de bajada fondo de molde (escamotable mediante un cilindro) controla la bajada del fondo del molde después de la apertura del mismo, el rodamiento se mantiene sobre la leva gracias a la acción de un resorte. Cuando el fondo de molde queda en posición baja después de un incidente, un sensor detecta la posición baja del

fondo de molde y acciona el cilindro neumático para mover hacia abajo la leva de bajada de fondo de molde. La leva de subida fondo de molde asegura la subida del fondo de molde antes del cierre del mismo. Al generarse un esfuerzo anormal durante la subida del fondo de molde, el rodamiento apoya sobre la leva de subida fondo de molde desplazándola, un sensor detecta la bajada de la leva y causa la parada inmediata de la máquina.

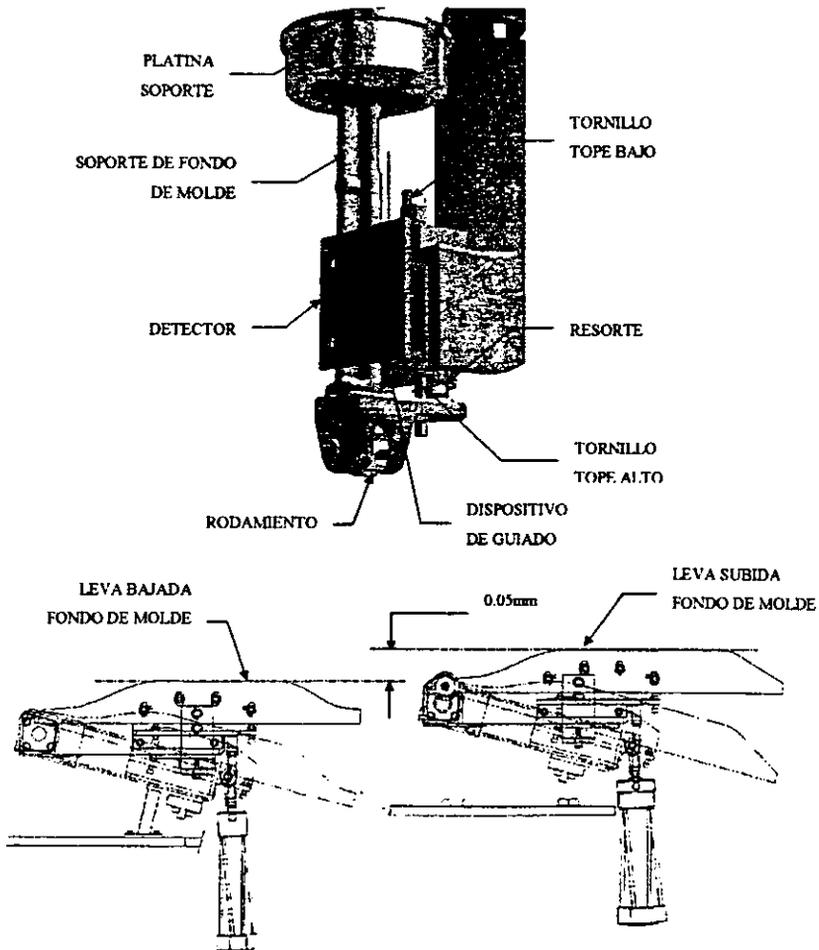


Figura 3.72 Conjunto fondo de molde y levas de subida/bajada fondo de molde.

Circuitos de aire

El circuito de aire asegura las empalmaduras con la red de aire de alta y baja presión, alimentando los componentes neumáticos de la máquina. Consta de dos circuitos, a saber:

- Circuito aire alta presión (40 bar): alimenta la máquina con aire seco de soplado.
- Circuito aire baja presión (7 bar): alimenta los actuadores neumáticos.

El circuito de alta presión se utiliza para las operaciones de presoplado y soplado de acuerdo a las necesidades específicas de cada tipo de botella y a las exigencias de calidad. El aire debe estar completamente seco, libre de aceite y partículas de acuerdo a las siguientes especificaciones:

- Tamaño máximo de los contaminantes sólidos: 1 micron
- Concentración máxima de los contaminantes sólidos: 1 mg/m^3 .
- Punto de rocío bajo presión: 2°C .
- Concentración máxima del aceite: 0.01 mg/m^3 .

El conjunto de alta presión está conformado por los siguientes elementos:

- Cuadro neumático de 40 bar: se encuentra en el costado izquierdo de la máquina, tiene una válvula en la entrada del circuito que aísla la máquina de la red de aire de alta presión. Una válvula de seguridad se activa cuando el aire de la red excede 50 bar y un filtro se encarga de eliminar partículas sólidas o líquidas. Después del filtro se encuentra un reductor, que se encarga de reducir la presión de la red a una presión adecuada para el proceso de soplado que se va a realizar.
- Circuito de distensión 40/13 bar: reduce la presión de soplado (40 bar) en presión de presoplado (13 bar). Un dispositivo reductor ajusta la presión de presoplado y una válvula de regulación ajusta el caudal de aire. El circuito cuenta con una válvula de seguridad que pone el circuito al aire libre en caso de sobrepresión.
- Parte central: llegada de aire.

El circuito de baja presión asegura el suministro de aire en los equipos de mando y en los cilindros de la rueda de soplado y del horno. Consiste esencialmente en:

- Cuadro neumático 7 bar: conectado a la red del cliente, asegura el tratamiento del aire de baja presión. Tiene una válvula de aislamiento que controla la apertura y cierre de alimentación de aire al cuadro neumático. Una válvula de seguridad abre el circuito al aire libre en caso de una sobrepresión. Dos filtros aseguran la filtración del aire y un regulador ajusta la presión.
- Parte central: llegada de aire.

La parte central de llegada de aire asegura la conexión neumática entre la parte fija y la parte móvil de la rueda de soplado y distribuye las presiones de soplado y presoplado sobre los puestos de soplado. Consiste esencialmente de los siguientes elementos:

- Racor rotativo aire: constituye la parte fija de la llegada de aire, asegura la estanqueidad dinámica del circuito de aire con el distribuidor de 40 bar (parte móvil). Está montado sobre una junta giratoria.
- Distribuidor 7 bar: distribuye el aire de baja presión a los puestos de soplado.
- Distribuidor 40 bar: distribuye el aire de alta presión a los puestos de soplado.
- Junta giratoria: está montada en el distribuidor de aire, permite la conexión de aire de 40 bar con el distribuidor de aire y la alimentación de aire lubricado a 7 bar (baja presión).
- Reserva de aire: asegura una presión y un caudal constante durante el presoplado.

Circuito de agua

El circuito de agua asegura las empalmaduras con la red de agua fría (agua caliente en opción) y alimenta los equipos hidráulicos de la máquina. Está conformado por:

- Circuito agua fría (tiene opción para agua caliente) para el cuerpo del molde: alimenta el cuerpo del molde permitiéndole mantener su temperatura.

- Circuito agua fría para el fondo y el horno: alimenta el fondo de molde (tiene opción para el cuello) y las rampas de agua del horno, asegurando así su enfriamiento.

El tablero hidráulico permite conectar la máquina a la red de agua fría del cliente, permite regular las alimentaciones y retornos del circuito hidráulico de la máquina.

La parte central de entrada de agua asegura el enlace hidráulico (agua caliente opcional) entre la parte fija y la parte móvil de la rueda de soplado. Permite distribuir el agua a las unidades portamolde. Sus principales componentes son:

- Racor rotativo de agua: asegura la estanqueidad dinámica del circuito de agua con los distribuidores.
- Distribuidor superior (parte móvil): alimenta el circuito cuerpo de molde.
- Distribuidor inferior (parte móvil): alimenta con agua el circuito fondo de molde.
- Bloques de distribución: son cuarenta bloques que aseguran el enlace entre los distribuidores y las unidades portamolde.

CONCLUSIONES

Después del trabajo realizado se pueden establecer las conclusiones siguientes:

1. El proceso de transformación del PET implica las etapas de secado, inyección y soplado.
2. La etapa más importante es el secado, ya que establece las características finales del producto. Se puede fabricar una preforma transparente, sin contracciones, ni marcas de agua, aparentemente en buen estado, se puede soplar dicha preforma obteniendo una botella sin deformaciones ni perforaciones, pero al momento de someterla a pruebas de esfuerzo y resistencia a la presión interna resulta una botella de baja calidad, lo cual se debe a un mal secado de la resina.
3. Comparando los tres procesos, se nota claramente que el secado es el proceso más sencillo, sin embargo es en este proceso donde se pueden modificar las propiedades físicas y químicas de la resina como la viscosidad intrínseca, el nivel de acetaldehído, el contenido de humedad y la resistencia mecánica, propiedades clave para un envase de plástico.
4. El proceso de inyección implica un cambio en las propiedades físicas y químicas de la resina, pero no es tan crítico como en el secado.
5. La inyección influye en el aspecto físico de la botella y se encarga de generar la pieza de transición, que es la preforma. Un mal proceso de inyección ocasiona preformas incompletas, con burbujas, ráfagas de material y opacidad.

6. El proceso de soplado se enfoca a la distribución del material dentro del molde, un proceso incorrecto resulta en botellas con el fondo perforado, rosca deformada y distribución incorrecta del material.
7. En cuanto al funcionamiento, cada maquinaria se basa en un principio básico, el secador se fundamenta en la circulación de aire caliente a través de sopladores y calentadores.
8. La máquina inyectora basa su funcionamiento en la presión hidráulica del aceite y los principios de fuerzas cortantes y de fricción para fundir la resina.
9. La máquina sopladora funciona mediante una serie de sistemas de levas y ruedas giratorias que controlan el soplado dentro del molde.

Finalmente, cabe mencionar que la transformación de la resina PET, implica un conocimiento amplio en todas las etapas del proceso, tanto de operación como de funcionamiento de la maquinaria, así, el presente trabajo permite conocer a grandes rasgos el proceso de transformación junto con la maquinaria implicada y como consecuencia, la posibilidad de un mejoramiento continuo del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

1. Manual de productos de poliéster. SHELL, Pecten Poliésteres Manufacturas, S.A. de C.V.
2. Curso Básico de PET. Procesamiento. SHELL MEXICO, S.A DE C.V.
3. Gas-Fired Solid Bed Dryer. Section One: Mechanical & Utility Instalation. UNIVERSAL DYNAMICS, INC. United States.
4. Curso de Proceso. HUSKY Injection Molding Systems LTD. México, 1999.
5. Curso para Operario. HUSKY Injection Molding Systems LTD. México, 2000.
6. Guía del Usuario de la Máquina PET serie G. HUSKY Injection Molding Systems LTD, Canadá 1999.
7. Manual de Mantenimiento de la Máquina PET serie G. HUSKY Injection Molding Systems LTD, Canadá 1999.
8. Explicación Técnica SB016/SBO18/SBO20. Serie 2. Manual Descriptivo. SIDEL, 1999.
9. Proceso. SIDEL. México, 1999
10. Sidel Middle Range. SIDEL Training Department. France, 1999.
11. Formación de operadores en máquinas de soplado PET. Grupo Imecplast. México, 1999.