

18



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

"EL TERMOFORMADO: UNA TECNICA
PARA LA TRANSFORMACION DE LAMINAS
TERMOPLASTICAS EN PRODUCTOS".

298083

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A N :

HECTOR PACHECO ARRIAGA

JULIA EDITH VELAZQUEZ CARBAJAL

ASESOR: I.Q. ARIEL SAMUEL BAUTISTA SALGADO.

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO. 2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



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

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
 P R E S E N T E .

Departamento de
 Exámenes Profesionales

AT'N: Q. MA. DEL CARMEN GARCIA MIJARES
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la F.E.S. - C.

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

"El Termoformado: Una Técnica para la Transformación de Láminas Termoplásticas en Productos".

que presenta el pasante: Héctor Pacheco Arriaga
 con número de cuenta: 9561607-4 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Químico

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
 Cautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 13 de Marzo de 2001

PRESIDENTE	<u>I.Q. Ariel S. Bautista Salgado</u>	
VOCAL	<u>I.Q.M. Rafael Sampere Morales</u>	
SECRETARIO	<u>I.Q. Graciela Delgadillo García</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Q. Celestino Silva Escalona</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I.Q. Ma. de Jesús Cruz Onofre</u>	



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

UNIVERSIDAD NACIONAL
 AVENIDA DE
 MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
 P R E S E N T E .

AT'N: Q. MA. DEL CARMEN GARCIA MEJARES
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la F.E.S. - C.

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

"El Termoformado: Una Técnica para la Transformación de Láminas Termoplásticas en Productos".

que presenta la pasante: Julia Edith Velázquez Carbajal
 con número de cuenta: 9557706-5 para obtener el TITULO de:
Ingeniera Química

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
 Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 13 de Marzo de 2001

- PRESIDENTE I.Q. Ariel S. Bautista Salgado
- VOCAL I.Q.M. Rafael Sampere Morales
- SECRETARIO I.Q. Graciela Delgadillo García
- PRIMER SUPLENTE Q. Celestino Silva Escalona
- SEGUNDO SUPLENTE I.Q. Ma. de Jesús Cruz Onofre

AGRADECIMIENTOS

- ❖ Agradezco a **Dios** la oportunidad que me ha dado para la realización de esta tesis, así como su ayuda en los momentos más difíciles de mi vida.

- ❖ A mi **Yoya** por ser siempre mi apoyo y que gracias a su ayuda y cariño he logrado uno de mis sueños. **Te dedico esta tesis** en agradecimiento por todos tus esfuerzos que has hecho para que Yo tuviera una profesión. Gracias.

- ❖ A mi **Viejo** por su cariño y apoyo en todo momento, **le dedico esta tesis**.

- ❖ A **Nicol** porque siempre has estado ahí cuando te he necesitado, Gracias. Sin tu ayuda este proyecto no hubiera sido posible. Espero algún día poder pagarte todo lo que me has dado.

- ❖ Al **Betín** porque siempre te has preocupado por mí y siempre has estado en el momento que te he necesitado. Gracias.

- ❖ A **Julia** por ser siempre mi apoyo durante toda la carrera sin ti ésta hubiera sido muy aburrida. Siempre tendrás un lugar muy especial en mi corazón. Y ahora que comenzamos una nueva etapa en nuestras vidas, te deseo lo mejor.

- ❖ A la **Sra. Aurora Méndez** por ser como mi segunda Madre.

- ❖ A todos los **Arriaga**, en especial a mis primos **Hugo** (te agradezco tus consejos y apoyo), y **Beto** que al marcharse dejó un hueco en el corazón de todos (☩)

- ❖ A la nueva parte de la familia **Sandra** y la **Marifer**, por traer una chispa de alegría a ésta.

- ❖ A mis amigos **Daniel**, **Alejandro** por acompañarme siempre en las buenas y en las malas.

HÉCTOR

AGRADECIMIENTOS

- ❖ A mis padres, **Ma. Magdalena Carbajal** y **Antonio Velázquez**, por darme la oportunidad de nacer, por confiar en mí, por ser mis padres: pero más que nada, por todos los sacrificios que hicieron por haber cumplido uno de mis sueños ser una *Profesionista*. Jamás podré compensar los sacrificios que hicieron, sin embargo, quiero ofrecerles esta tesis, como una pequeña muestra del cariño y admiración que siento por ustedes. **Los quiero mucho.**

- ❖ A **Héctor Pacheco**, por ser una persona muy especial en mi vida. Por dejarme caminar a tu lado experimentando lo mejor de esta vida. Por ser una gran persona, un excelente amigo, pero sobre todo por ser un hombre que deja huella con sus actos, su inteligencia y su presencia. Jamás terminaré de agradecerte todo lo que has hecho por mí, sin embargo, quiero decirte que las palabras se las lleva el viento, pero lo que mi corazón siente por ti, seguirá vigente siempre, pues tu has sido y serás por siempre una persona muy especial. Mil gracias por compartir conmigo mis éxitos y fracasos por igual, por haberme mostrado que en cada caída hay una enseñanza, ayudándome a escalar cada peldaño por muy difícil que parezca el camino, gracias por ser mi compañero de tesis, gracias por todo. **Te quiero mucho Eco.**

- ❖ A **Lety Rodríguez**, por ser una gran compañera y una excelente amiga, por darme la oportunidad de conocerte, por tu apoyo y ayuda incondicional, por brindarme tu hermosa amistad, en este mundo donde es tan difícil encontrar una verdadera amiga. **Te quiero mucho.**

- ❖ A **Gisela Pérez Cosío, Octavio D. Cervantes Muñoz, Michael G. Ramírez Godínez, José Luis López Guerrero** y **Nancy Morales**, porque a pesar del tiempo y la distancia nuestra amistad sigue y seguirá vigente por siempre, gracias por ser unos excelentes amigos. **Los quiero mucho.**

JULIA

AGRADECIMIENTOS

- ❖ Al I. Q. **Ariel S. Bautista Salgado**, por aceptar ser nuestro asesor y brindarnos sus innumerables conocimientos, pero más que nada por ser un excelente amigo. Y a su **Sra. Madre** por abrimos las puertas de su hogar en los momentos difíciles que atravesó nuestra querida Universidad.

- ❖ A nuestros **Sinodales** por su tiempo y dedicación en la revisión de esta tesis.

- ❖ Al Q. **Celestino Silva Escalona**, porque sin su ayuda esta tesis no sería lo que hoy es.

- ❖ A la I. A. **Ana María Soto Bautista** (sección de Ingeniería Química), por brindarnos su ayuda incondicional en la revisión de esta tesis.

- ❖ Al D. I. **Sergio Torres Muñoz** (laboratorio de plásticos ubicado en C. U.) por su tiempo, dedicación y ayuda en la revisión y evaluación de este trabajo.

- ❖ A la I. Q. **Ma. De Jesús Cruz Onofre**, porque en el transcurso de nuestros estudios, nos brindo siempre de manera incondicional su ayuda y apoyo desinteresadamente; por confiar plenamente en nosotros, pero sobre todo por ser una excelente amiga.

- ❖ Al I. Q. **Antonio Carranza Monroy**, por transmitirnos sus conocimientos con la firme intención de llegar a formar profesionistas con un alto sentido de lealtad y amor hacia su carrera.

- ❖ Al **Dr. Franco Pérez Arévalo** y a la **Q. María Eugenia Carbajal**, por brindamos su ayuda y apoyo en todo momento y por sus excelentes consejos para que llegemos a ser buenos profesionistas.

- ❖ Al **I. Q. Bernardo Torres**, por su amistad y apoyo hacia todos los estudiantes de Ingeniería Química.

- ❖ A la sección de Servicios Escolares, en especial a la **Sra. María Rita Farfán Caudillo** y a la **Sra. Rebeca Díaz Infante Torres**, por su buen trato, apoyo y ayuda.

- ❖ A **Don Memo** de la biblioteca de Campo 1, por su buen trato y amabilidad durante todos estos años.

- ❖ A **Iván Hernández (I. Q. 18)**, por ser un buen compañero y un gran amigo.

- ❖ A la **UNAM** y a la **FES-C** por ser como nuestra segunda casa y por habernos formados profesionalmente.

HÉCTOR Y JULIA

ÍNDICE

TEMA	PÁGINA
- OBJETIVOS	1
- RESUMEN	2
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	7
1.1.0. Antecedentes	7
1.2.0. Reseña histórica	12
1.3.0. Generalidades	14
1.3.1. Ventajas y restricciones	17
1.4.0. Aplicaciones actuales	19
CAPÍTULO 2. ETAPAS DE OPERACIÓN DEL TERMOFORMADO	21
2.1.0. Posicionamiento (Clamping)	24
2.2.0. Calentamiento	25
2.2.1. Radiación	25
2.2.2. Convección	27
2.2.3. Conducción	27
2.3.0. Formado	30
2.3.1. Procesos básicos o de un solo paso (Una etapa)	32
2.3.1.1. Formado a vacío libre	32
2.3.1.2. Formado a vacío directo	33
2.3.1.3. Formado a vacío en molde macho	36
2.3.1.4. Formado a presión libre	38
2.3.1.5. Formado a presión	39
2.3.1.6. Formado mecánico	41
2.3.2. Procesos multipasos (Multietapas)	43
2.3.2.1. Formado a vacío con colchón de aire	43
2.3.2.2. Formado a presión con colchón de aire	45
2.3.2.3. Formado a vacío con retorno	46
2.3.2.4. Formado a presión con retorno	47

2.3.3.	Procesos con ayuda de pistón	48
2.3.3.1.	Formado a vacío con ayuda de pistón	48
2.3.3.2.	Formado a presión con ayuda de pistón	49
2.3.3.3.	Formado a vacío con colchón de aire y ayuda de pistón	50
2.3.3.4.	Formado a presión con colchón de aire y ayuda de pistón	51
2.3.4.	Procesos especiales	52
2.3.4.1.	Formado a vacío con deslizamiento	52
2.3.4.2.	Formado a presión con diafragma	54
2.3.4.3.	Formado de lámina atrapada	55
2.3.4.4.	Formado de cuerpos huecos	57
2.3.4.5.	Formado multicapa	58
2.4.0.	Enfriamiento	59
2.5.0.	Desmoldeo	60
2.6.0.	Corte de desperdicio (Trimming)	61
2.6.1.	Técnicas tradicionales	62
2.6.1.1.	Sierras	62
2.6.1.2.	Corte con router	63
2.6.2.	Procesos automáticos	64
2.6.2.1.	Compresión	64
2.6.2.2.	Desgarre	65
2.6.2.3.	Agua a presión	65
2.6.2.4.	Láser	66
2.7.0.	Decoración	67
2.8.0.	Variables de proceso	68
2.8.1.	Temperatura de calentamiento	68
2.8.2.	Velocidad de estirado	68
2.8.3.	Vacío insuficiente	68
2.8.4.	Aire	69
CAPÍTULO 3. MOLDES		70
3.1.0.	Tipos de moldes	70
3.1.1.	Molde macho	71
3.1.2.	Molde hembra	72
3.1.3.	Comparación entre un molde macho y un molde hembra	73

3.2.0. Materiales del molde	74
3.2.1. Moldes de yeso	75
3.2.2. Moldes de madera	75
3.2.3. Moldes de resina	75
3.2.4. Moldes metálicos	76
3.2.4.1. Aluminio	76
3.2.4.2. Acero	76
3.3.0. Variables del molde	77
3.3.1. Huccos de vacío	77
3.3.2. Velocidad de evacuación	77
3.3.3. Grado de estirado	78
3.3.4. Temperatura del molde	78
3.3.5. Superficie del molde	79
3.3.6. Refuerzos	79
3.3.6.1. Insertos	79
3.3.6.2. Resaltes	80

CAPÍTULO 4. MÁQUINAS 81

4.1.0. Características de las máquinas	81
4.2.0. Tipos de máquinas	83
4.2.1. Máquinas manuales	83
4.2.2. Máquinas semiautomáticas	84
4.2.2.1. Máquinas de una estación	85
4.2.2.2. Máquinas de dos estaciones	86
4.2.2.3. Máquinas rotativas	87
4.2.3. Máquinas automáticas	88
4.2.3.1. Máquinas de termoformado en línea intermitente	89
4.2.3.2. Máquinas de termoformado en línea continua	90

CAPÍTULO 5. MATERIALES

91

5.1.0. Láminas termoplásticas	91
5.1.1. Lámina de estireno	100
5.1.1.1. Láminas de poliestireno cristal	101
5.1.1.2. Láminas de poliestireno expansible	101
5.1.1.3. Láminas de poliestireno grado impacto	102
5.1.1.4. Láminas de copolímero de estireno-butadieno-estireno	103
5.1.1.5. Láminas de copolímero de estireno-acrilonitrilo	104
5.1.1.6. Láminas de acrilonitrilo-butadieno-estireno	104
5.1.2. Láminas de celulosa	105
5.1.3. Láminas acrílicas	105
5.1.4. Láminas vinílicas	106
5.1.4.1. Láminas de cloruro de polivinilo	106
5.1.4.2. Láminas de copolímero de vinilo	106
5.1.5. Láminas de poliolefinas	107
5.1.5.1. Láminas de polietileno de baja densidad	107
5.1.5.2. Láminas de polietileno de alta densidad	107
5.1.5.3. Láminas de polipropileno	108
5.1.6. Láminas de poliésteres	109
5.1.6.1. Láminas de polietileno tereftalato	109
5.1.6.2. Láminas de copoliésteres	109
5.1.6.3. Láminas de policarbonato	110
5.2.0. Propiedades de los materiales	112
5.2.1. Memoria plástica	112
5.2.2. Calor de elongación	112
5.2.3. Calor de resistencia	112
5.2.4. Temperatura de formación	112
5.3.0. Variables de los materiales	113
5.3.1. Espesor de la lámina	113
5.3.1.1. Adelgazamiento en el espesor del material	113
5.3.2. Viscosidad de la lámina o variación en el punto de ablandamiento	114
5.3.3. Orientación de la lámina	114
5.3.4. Densidad de la lámina	114

CAPÍTULO 6. PROBLEMAS Y SEGURIDAD EN EL PROCESO DE TERMOFORMADO	115
6.1.0. Guía de problemas y posibles soluciones durante el proceso	115
6.2.0. Seguridad en el proceso	123
6.2.1. Causas inmediatas de accidentes	125
6.2.1.1. Condiciones inseguras	125
6.2.1.2. Actos inseguros	125
6.2.2. Causas básicas de accidentes	126
6.2.2.1. Factores personales	126
6.2.2.2. Factores de trabajo	126
6.2.3. Fallas en la maquinaria y/o equipo	127
6.2.3.1. Fallas primarias	127
6.2.3.2. Fallas secundarias	127
6.2.4. Equipo de protección personal	129
6.2.4.1. Protección para la cabeza	130
6.2.4.2. Protección para el tronco	130
6.2.4.3. Protección para las extremidades	131
6.2.5. Riesgo de incendio	132
6.2.5.1. Etapas de un incendio	133
6.2.5.2. Tipos de incendio	134
6.2.5.3. Tipos de extintores	135
- RECOMENDACIONES	138
- BIBLIOGRAFÍA	141

APÉNDICES

A. LISTA DE SIGLAS E IDENTIFICACIÓN DE POLÍMEROS

B. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

OBJETIVOS

Los objetivos que fundamentalmente se persiguen en esta tesis son:

1. Describir de una manera general una de las técnicas para la transformación de láminas termoplásticas en productos, el termoformado.
2. Llevar a cabo un análisis de las etapas de operación del termoformado.
3. Realizar una descripción de las máquinas utilizadas en este proceso, que reflejen la práctica operativa que se encontrará en la industria.
4. Estudiar los materiales más utilizados en el termoformado, debido a la interacción que hay entre los materiales y los procesos.
5. Conocer algunos problemas y las posibles soluciones que se pueden presentar en este proceso.
6. Que estas notas puedan ser útiles no sólo para un Ingeniero o un estudiante de Ingeniería que no requiere un conocimiento profundo de la Química, o puede ser un Químico; sino para todos los estudiantes de licenciatura que requieran una visión general de este proceso.

RESUMEN

Se va a hablar del termoformado como un proceso de transformación donde el material sujetado, se calienta hasta ablandarse y a través de medios neumáticos se presiona para formar el artículo final sin pasar por la fusión del plástico. En esta técnica el comportamiento que predomina es de tracción o de alargamiento.

Esta técnica es muy antigua, desde tiempos remotos ya se utilizaba para formar diversos objetos calentando huesos de animales. Inicialmente el termoformado sólo implicaba el uso de calor (de ahí su nombre) y conforme se ha ido desarrollando, en la actualidad involucra calor y presión.

El termoformado como se practica en la industria está compuesto de siete pasos:

1. **Posicionamiento (clamping):** Consiste en sujetar firmemente la lámina en el bastidor de formado mediante pinzas u otros dispositivos que impidan el desplazamiento lateral de la lámina.
2. **Calentamiento:** El material es calentado a la temperatura deseada para su formación. Este calentamiento se lleva a cabo por tres métodos diferentes:
 - *Radiación:* Es el método más utilizado para suministrar energía directa y uniforme a la lámina, se emplea para materiales de bajo calibre.
 - *Convección:* Se emplea para láminas gruesas y consiste en hacer circular aire previamente calentado en un horno para lograr el reblandecimiento de la lámina
 - *Conducción:* Se realiza mediante una placa metálica porosa que se calienta y se mantiene en contacto con la lámina a formar; se emplea en el método de formado de lámina atrapada.

3. Formado: Consiste en forzar la lámina previamente sujeta y calentada, a tomar los contornos del molde. Para ello, se requiere de una fuerza externa que puede ser de tres tipos:
 - *Vacio*: Por medio de una bomba se acciona el vacío que jala la lámina hacia la superficie del molde hasta lograr que se adhiera a él.
 - *Presión*: A través de aire a presión se empuja la lámina hacia el molde para que esta se adhiera a él y tome la forma del mismo.
 - *Mecánica*: Se le denomina como formado hembra - macho y consiste en un molde con contramolde y por medio del ensamble de ambos se logra que la lámina reblandecida tome los contornos del molde.

4. Enfriamiento: Se deja la pieza sostenida en el paso de formado hasta que solidifique, o bien, dependiendo de los requerimientos del proceso se implementa un sistema de enfriamiento que puede ser:
 - Introduciendo agua al molde por algunos canales.
 - Forzando aire a presión sobre la pieza terminada.
 - Rociando como spray un poco de agua sobre la pieza. Esta forma es poco común y sólo se aplica cuando el material no presenta problemas en sus propiedades mecánicas por la humedad.

5. Desmoldeo: Después de enfriada la pieza se desmolda y desprende de las pinzas sujetadoras.

6. Corte del desperdicio (trimming): En esta etapa se corta la parte innecesaria o no deseada de la lámina. Este se realiza por medio de:

- *Técnicas tradicionales:* Incluye herramientas eléctricas como el corte con sierra circular, sierra cinta y router.
- *Procesos automáticos:* El corte se realiza por compresión, desgarre, láser y/o agua a presión.

7. **Decoración:** Sólo en algunas ocasiones se incluye y es para adicionar marcas registradas, diseños, etc.

Es indispensable tener un control muy estrecho de temperaturas en todos los pasos de operación, por lo que se recomienda instalar un sistema de control de temperatura en los moldes para mejorar los ciclos de producción y mantener lo más estable posible las condiciones de operación.

En la etapa de formado, la presión es un parámetro importante, a vacío se limita a un máximo teórico de una atmósfera, a presión, son comunes de tres a cuatro atmósferas.

La maquinaria a utilizar es relativamente barata en comparación con otros métodos para la formación de partes plásticas. Para la fabricación de piezas grandes, el costo de los moldes de termoformado en comparación a los utilizados en el proceso de inyección están en una relación de 25 a 1 aproximadamente dependiendo del tipo de molde. Como consecuencia se tendrán menores costos de producción y una mayor proyección.

Existen diversos tipos de máquinas de acuerdo al producto que se desea obtener. Las características que deben cumplir estas máquinas de termoformado son:

1. Medio de sujeción o cierre.
2. Medio de calentamiento de la lámina.
3. Dispositivo manual o mecánico para bajar el molde dentro de la lámina.
4. Sistema de vacío o sistema de aire a presión.
5. Sistema de enfriamiento
6. Controles de operación.
7. Dispositivo de seguridad.

Se analizarán las características y alternativas de los materiales más adecuados como son:

- Calidad de la lámina (espesor de la lámina, punto de ablandamiento, orientación y densidad de la lámina)
- Memoria plástica.
- Calor de elongación.
- Calor de resistencia
- Temperatura de formación

Sólo se van a termoformar los materiales termoplásticos debido a que estos pueden ablandarse por recalentamiento, mientras que los polímeros termofijos no pueden volver a reutilizarse.

Los materiales de mayor uso en la actualidad en el mercado nacional, son las láminas de copolímeros de estireno, básicamente por sus excelentes propiedades mecánicas y térmicas que las hacen de gran demanda en la industria de refrigeración y de envases desechables.

El proceso de termoformado tiene su mayor mercado en productos de vida corta como aplicaciones para envase y embalaje de alimentos, medicinas y artículos diversos, así como en productos desechables. Ejemplos de estos son los siguientes:

- Charolas para embalaje de alimentos.
- Recipientes para embalaje en panaderías: charolas para pasteles y gelatinas.
- Protectores para teclados de computadoras.
- Desechables: vasos y platos.
- Interiores de refrigeradores.
- Domos para tragaluz.

La realización de productos por esta técnica y no por otras operaciones se basa generalmente en consideraciones de tipo económico.

En el mercado, el consumo de lámina para termoformado, ascendió a 90,000 toneladas (en 1993) que se procesaron por transformadores que vendieron su producto a otros usuarios con los que se han integrado y cuyo negocio principal no es el termoformado, sino la producción de alimentos, medicamentos, aparatos domésticos, entre otros.

En el termoformado también existen defectos, por lo cual se incluye una guía para la solución de posibles problemas ocurridos durante el proceso. los más comunes son los siguientes:

- Pieza poco detallada.
- Líneas blancas.
- Deformación de la pieza al contraerse.

Es fundamental, considerar que en todo proceso por muy seguro que parezca, mientras que exista el factor humano existe el riesgo, el cual involucra la posibilidad de un accidente. Por lo que se mencionan las principales causas de accidentes en la termoformación; los tipos de fallas en la maquinaria y/o equipo; el equipo de protección personal que debe usarse durante el proceso y debido a que se producen artículos inflamables y se trabaja con maquinaria eléctrica existe riesgo de incendio.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.0. ANTECEDENTES

Hace cien años al mencionar el término plástico, éste se podía entender como algo relativo a la reproducción de formas o las artes plásticas, la pintura, la escultura, el modelado. En la actualidad, esta palabra se utiliza con mayor frecuencia y tiene un significado que implica no sólo arte, sino también tecnología y ciencia. Plásticos es una palabra que se deriva del griego "*plastikos*" que significa "*capaz de ser moldeado*", sin embargo, esta definición no es suficiente para describir de forma clara a la gran variedad de materiales que así se denominan.

Técnicamente los plásticos son sustancias de origen orgánico formadas por largas cadenas macromoleculares que contienen en su estructura carbono e hidrógeno principalmente. Se obtienen mediante reacciones químicas entre diferentes materias primas de origen sintético o natural. Es posible moldearlos mediante procesos de transformación aplicando calor y presión. Los plásticos son parte de la gran familia de los Polímeros. "*Polímero*", es una palabra de origen latín que significa "*poli*" muchas y "*meros*" partes, de los cuales se derivan también otros productos como los adhesivos, recubrimientos y pinturas. El desarrollo histórico de los plásticos comenzó cuando se descubrió que las resinas naturales podían emplearse para elaborar objetos de uso práctico. Desde tiempos remotos, la civilización de los pueblos se ha medido por la cantidad y perfección de sus conocimientos técnicos, políticos, sociales, económicos y tecnológicos. Por lo que sí en algún tiempo de la vida humana se le llamo la Edad de Piedra y la Edad de los Metales, por ser los materiales que más se utilizaban (desde el punto de vista técnico) El siglo XX puede considerarse como el inicio de la "Era del Plástico", ya que en esta época la obtención y comercialización de los plásticos sintéticos ha sido continuamente incrementada y el registro de patentes se presenta en un numero creciente.

La razón que justifica la Edad de los Plásticos; es debido a que en la época actual resultaría difícil imaginar que alguno de los sectores de nuestra vida diaria, de la economía o de la técnica, pudiera prescindir de los plásticos. Sólo basta con observar a nuestro alrededor y analizar cuantos objetos son de plástico para visualizar la importancia económica que tienen estos materiales.

Dicha importancia se refleja en los índices de crecimiento que, mantenidos a lo largo de algunos años desde principios de siglo, superan a casi todas las demás actividades industriales y grupos de materiales. En 1990 la producción mundial de plásticos alcanzó los 100 millones de toneladas, durante 1997 fue de 145 millones de toneladas y se estima que para el año 2000 llegará a 180 millones de toneladas, que representa un 24% de incremento.

La industria plástica es la de mayor interacción económica entre los sectores productivos del mundo moderno. Como se observa en la figura 1.1.0. el consumo de plásticos sólo se encuentra por abajo del consumo del hierro y acero, pero debe tomarse en cuenta que estos tienen una densidad entre seis y siete veces mayor a la de los plásticos. Por esta razón, el volumen producido de plásticos fue mayor al del acero.

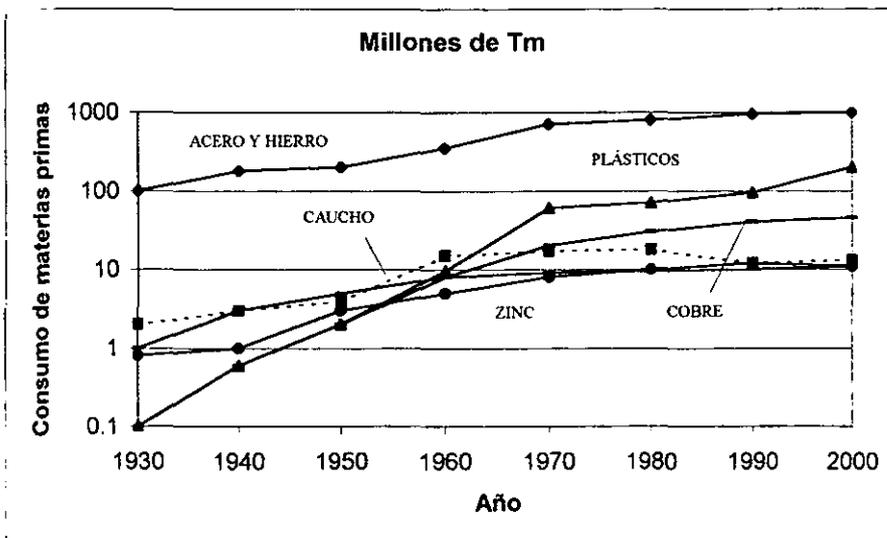


Figura 1.1.0. Consumo Mundial De Materias Básicas

Los plásticos seguirán creciendo en consumo, pues están abarcando mercados del vidrio, papel y metales debido a sus buenas propiedades y su relación costo – beneficio.

México actualmente tiene el 3% del número de empresas de plástico en el mundo y el 1.8% del consumo global, ocupa el número 17 en la producción de plástico. Participa en el 70% de la actividad económica nacional y genera un volumen de ventas de 20000 millones de pesos, además, de que ofrece empleo a 120,000 personas. Para sus próximos cinco años sus expectativas de crecimiento son del 9%, tres veces superior al PIB. En pocas palabras, el potencial que tiene el sector es inagotable siempre y cuando se trabaje arduamente en toda la cadena productiva: petroquímica básica y secundaria, manufactura, sistemas de reciclaje y servicios a clientes.

Es necesario, motivar la inversión de nuevas plantas productoras de materias primas y sobretodo en la Industria de la Transformación que es la que proporciona el mayor valor agregado a los productos petroquímicos.

Una de las principales ventajas de los plásticos radica en la enorme variedad de procedimientos de transformación a los que son sometidos: inyección, extrusión, soplado, calandreo, rotomoldeo, inmersión, laminado, termoformado, doblado, sellado, corte, pegado.

Por su consumo en materia prima, en México el proceso de transformación más importante es el de extrusión ya que existen alrededor de 8000 empresas que consumen 925,000 toneladas al año para la fabricación de películas, láminas, tubería, perfil, mangueras, monofilamentos y recubrimientos de cable y alambre.

Se eligió el proceso de termoformado por ser un proceso de transformación secundario, donde la lámina utilizada se obtiene por el proceso primario de extrusión y es utilizado para la fabricación de envases, que ocupa el 42.3% del mercado en México (por ser resistentes e higiénicos, favoreciendo la distribución y disminuyendo pérdidas por desperdicios)

También, se pueden obtener una gran variedad de productos para todo tipo de mercado industrial, doméstico, etc. Además es un proceso económico y sencillo que puede crecer hasta donde las necesidades lo indiquen, pues hay máquinas de termoformado de gran tecnología y a su vez manuales, económicas y sencillas.

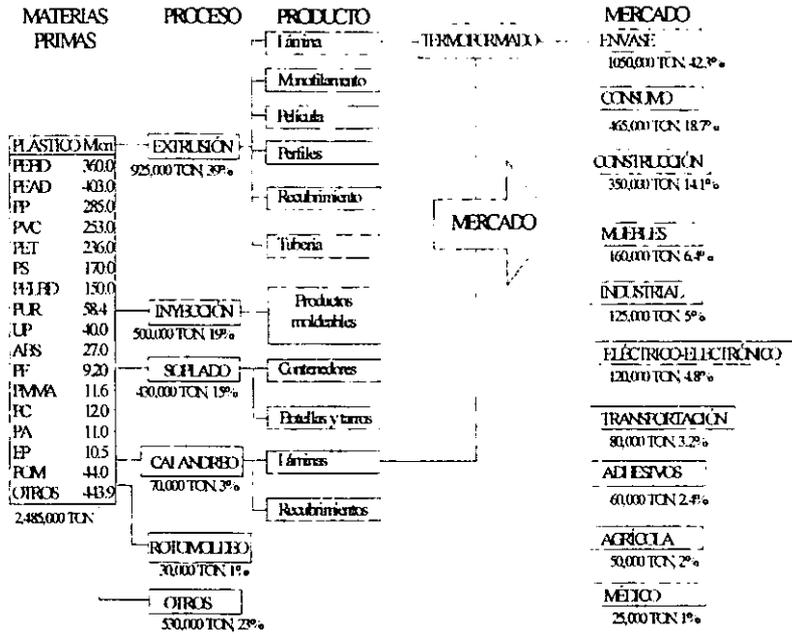


Figura 1.1.1. Mercado Integral De La Industria Del Plástico (México 1997)

No se debe olvidar que los plásticos han hecho que la vida del ser humano sea más práctica y cómoda durante los últimos 70 años. Sin embargo, debido a que se generan grandes volúmenes de desperdicios en la basura, el plástico ha adquirido una imagen negativa, esto se debe a que no es un material degradable. A pesar de esto, cabe mencionar que los plásticos no deben presentarse como la principal causa de contaminación por desechos sólidos, ya que sólo es el 5% en peso de plásticos en la basura. Incluso en la mayoría de los casos se trata de un material 100% reciclable y actualmente en México existen 30 empresas que se dedican a esta labor.

En termoformado, únicamente existe recorte de material, que es fácil de procesar y manejar para su recuperación. Estos desperdicios, excepto las purgas, son posibles de reciclar molindiéndolos en equipos convencionales y mezclándolos con material virgen, en niveles desde 10 hasta 70% cuando la pieza moldeada no requiere de propiedades especiales.

Es común observar que los desechos se utilicen en la misma empresa para productos de menor calidad, ya que la industria transformadora aporta un 15% del total de desperdicios. Existen productos que no aceptan material reciclado, por lo que éste se vende a empresas que lo procesan y comercializan como remolidos.

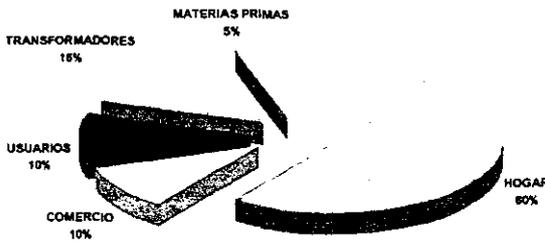


Figura 1.1.2. Fuentes De Desperdicios Plásticos

Pertenecer a la industria del plástico representa solidez en los negocios y amplio futuro si se dirige con visión hacia la exportación y diversificación en mercados locales. Las tendencias de crecimiento de otros materiales no son superiores al 5% y por lo tanto, es importante mantenerse informado de las nuevas necesidades de sustitución, diseño y desarrollo, donde se aprovechen las grandes ventajas de los plásticos. Todos esperamos que la industria mexicana del plástico sea incluida entre las primeras en un plazo relativamente corto. Tenemos elementos para lograr esa meta, siempre y cuando se sepan escoger los caminos tecnológicos adecuados.

1.2.0. RESEÑA HISTÓRICA

A la par del descubrimiento y síntesis de los materiales plásticos, la creatividad del hombre ha ideado formas para moldearlos con el objeto de satisfacer sus necesidades. Por ejemplo: la sustitución de los materiales tradicionales como el vidrio, metal, madera o cerámica, por otros nuevos que permiten obtener una mejora de propiedades, facilidad de obtención y por las necesidades del presente siglo, la posibilidad de implementar producciones masivas de artículos de alto consumo a bajo costo.

El nacimiento de los procesos de moldeo de materiales plásticos, se remonta a épocas bíblicas. Los egipcios descubrieron que los cuernos de los animales y los caparazones de las tortugas al ser calentados en agua, podían tomar diversas formas. Así mismo, se usó el bitumen, para la confección de la canasta en la que se puso al patriarca hebreo Moisés en el río Nilo y en el uso de este material en vez de cemento para edificar en Babilonia. Al seguir el curso de la historia, se detectan otros usos de resinas naturales como el ámbar en joyería en la antigua Roma, la laca como recubrimiento en la India, pelotas de hule natural para juegos rituales en América Central y otras. En 1839, Charles Goodyear descubrió el proceso de vulcanización del hule con azufre, pero aún no se puede hablar de procesos de moldeo comerciales o industriales.

En 1869 Parkes, en Londres, idea el moldeo de nitrato de celulosa utilizando rodillos, una pequeña cantidad de solvente y calor para plastificar el compuesto; obteniendo collares de celuloide, muñecas y otros artículos. Los intentos para el desarrollo de productos y procesos para moldear continuaron y en 1872 se patenta la primer máquina de inyección para moldear nitrato de celulosa, pero debido a la gran flamabilidad de este material y peligrosidad de trabajar, el proceso no se desarrolló.

Al término del siglo XIX, los únicos materiales plásticos disponibles para usos prácticos eran el shellac (laca), la gutta percha, la ebonita y el celuloide, el ámbar y el bitumen. moldeados en formas artesanales.

En 1926, la expansión de materiales poliméricos y las experiencias en el diseño de máquinas para procesarlos, estimulan la creación de máquinas con aplicación industrial, en la construcción y fabricación en serie de inyectoras de émbolo impulsada por la síntesis del poliestireno (PS) y acrílico (PMMA)

En 1935 Paul Troester, en Alemania, construye una máquina extrusora de termoplásticos, basada en diseños anteriores para el procesamiento de hules. A partir de esta fecha se inicia el uso de electricidad para el calentamiento, que sustituye al vapor. En Italia se genera el uso de husillos gemelos. En 1938, se concibe la idea industrial del termoformado.

En 1940 se desarrolló el soplado de láminas de celulosa. Prácticamente, su aplicación se limitó a unas cuantas láminas acrílicas y de celulosa, siendo éstas de poca importancia en comparación con procesos como el moldeo por compresión o por inyección.

Aunque la técnica de termoformado con el paso del tiempo se ha ido desarrollando, el proceso no fue usado durante un gran número de años. Poco antes y durante la Segunda Guerra Mundial esta técnica fue revivida. Durante la Segunda Guerra Mundial esta técnica se utilizó para formar el contorno de los mapas para el grupo de comandantes en el campo. Un uso más espectacular del termoformado fue para la producción de cabinas para los aviones de combate.

Este proceso se ha desarrollado rápidamente gracias a las mejoras en equipo, a la introducción de nuevos materiales termoplásticos y por supuesto al desarrollo del proceso de extrusión de láminas termoplásticas.

A la fecha, se cuenta con la existencia de cientos de polímeros patentados; de ellos aproximadamente 30 son imprescindibles. Los productos manufacturados con plásticos, son obtenidos por más de 20 procesos de moldeo distintos, aproximadamente 10 gobiernan la mayor parte del volumen de plásticos transformados.

1.3.0. GENERALIDADES

Los procesos de transformación de plásticos se clasifican en:

Procesos para termoplásticos:

- Extrusión
- Inyección
- Soplado
- Termoformado
- Calandreo
- Inmersión

Procesos para termofijos:

- Laminado
- Transferencia

Procesos para termoplásticos y termofijos:

- Vaciado
- Compresión
- Rotomoldeo

Aunque existe un número mayor de procesos de moldeo de plásticos, los anteriores se pueden encontrar con más frecuencia.

Otra clasificación de los procesos de transformación se basa en los cambios del estado que sufre el plástico dentro de la maquinaria. Así, podemos encontrar la siguiente división:

- Procesos primarios
- Procesos secundarios

En el primer caso, el plástico es moldeado a través de un proceso térmico donde el material pasa por el estado líquido y finalmente se solidifica, mientras que en los procesos secundarios se utilizan medios mecánicos o neumáticos para formar el artículo final sin pasar por la fusión del plástico.

Con base a estos criterios, los procesos de transformación principales se clasifican como.

Procesos primarios:

- Extrusión
- Inyección
- Soplado
- Calandreo
- Inmersión
- Rotomoldeo
- Compresión

Procesos secundarios:

- Termoformado
- Doblado
- Corte
- Maquinado

El termoformado como su nombre lo implica, es la formación de partes plásticas por la aplicación de calor. Y es un proceso de transformación secundario: una lámina termoplástica se moldea por la acción de temperatura y presión. La temperatura ayuda a reblandecer la lámina y por medio de moldes y la intervención de vacío o presión, se adquiere la forma final.

El termoformado es un proceso en el cual se usa una lámina plana de material termoplástico para darle la forma deseada. En la termoformación, se calienta una preforma que, por lo común, es una lámina de polímero obtenida por extrusión, hasta que se reblandece y luego, se produce una deformación en el molde.

En la actualidad el termoformado involucra calor y presión. La presión puede llevarse a cabo por un vacío en un lado de la lámina, por aplicación de aire a presión o por el cierre de la lámina entre un molde macho y un molde hembra.

La realización de productos por esta operación y no por otras se basa generalmente en consideraciones de tipo económico.

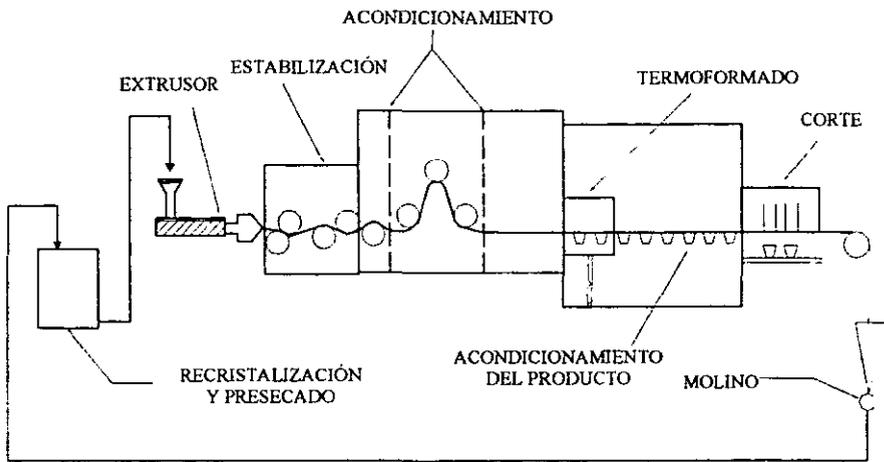


Figura 1.3.0. Proceso De Termoformado

1.3.1. VENTAJAS Y RESTRICCIONES

La alta productividad es una ventaja del termoformado, en razón de que por ser un proceso de transformación secundario, no se llega a la fusión de la resina, sino únicamente a reblandecerla.

También se deriva en requerimientos de moldes muy sencillos, en comparación a los moldes por inyección para la fabricación de una misma pieza. La sencillez relativa en la construcción de moldes ofrece al proceso de termoformado una mayor agilidad e inversiones bajas cuando se cambia de diseño de producto, lo cual es tardado y costoso, en un cambio de moldes para inyección están en una relación de 25 a 1 aproximadamente, dependiendo del tipo de molde.

Una ventaja importante en la formación de láminas es que las láminas pueden estar predecoradas, revestidas o preimpresas con efectos como grano de madera, letreros o acabados metálicos. Las partes formadas pueden tener paredes bastante delgadas o áreas grandes que serían difíciles de moldear en otras formas. El formado en láminas no maltrata los moldes que pueden ser de plástico, madera, yeso, resinas y metales. Rara vez cuestan más de unos pocos miles de pesos y pueden habilitarse con rapidez.

Tiene también ventajas sobre inyección y soplado, debido a sus bajos requerimientos energéticos, baja presión y su fácil fabricación en serie. En cuanto a restricciones del proceso, se debe partir de una lámina de material plástico en lugar de materia prima en forma de pellets o polvos.

Se tiene un límite en los espesores y dimensiones del producto (láminas gruesas, espesor mayor a 0.25 mm; láminas delgadas, espesor menor a 0.25 mm) En el primer caso, láminas gruesas no permiten un calentamiento uniforme en su parte interna, por la baja conductividad térmica de los plásticos, que impedirá el formado de la pieza.

En el caso de las dimensiones del producto por ser un proceso basado en estiramientos de una lámina, la forma final está restringida al espesor de la lámina y a las propiedades mecánicas de la resina, como son: resistencia a la tensión, elongación y resistencia al impacto.

La inserción de partes metálicas o la producción de piezas con perforaciones, no es posible directamente, se debe recurrir a métodos de maquinado posteriores y no se usa el 100% de la lámina en artículo terminado, ya que una parte de ésta debe ser cortada y reciclada.

1.4.0. APLICACIONES ACTUALES

El proceso de termoformado, tiene su mercado en piezas de vida útil limitada como aplicaciones para envase y embalaje de alimentos, medicinas y artículos diversos, así como en productos desechables. Sin embargo, también tiene aplicaciones de tipo industrial. Ejemplos de éstas son las siguientes:

Envase y embalaje:

- Vasos de tapa pelable para alimentos
- Charolas para embalaje de alimentos, repostería
- Cápsula para envase de productos farmacéuticos: blister pack para pilas, rastrillos, tornillos, botones, etc.
- Recipientes para embalaje en panaderías: charolas para pasteles y gelatinas
- Embalaje de artículos diversos.

Artículos de oficina:

- Protectores para teclados de computadora

Artículos de consumo:

- Desechables: vasos, platos.
- Formas decorativas de temporada: motivos navideños.

Industrial:

- Interiores de refrigeradores.

Otros:

- Burbujas para maquetas
- Domos para tragaluz

El termoformado es en la actualidad una técnica bien determinada y pueden identificarse tres clases principales de producto.

- *Contenedores de pared delgada:* Son artículos como vasos, envases, etc. La línea de moldeo se halla en la línea con el extrusor de laminación. Se controla exactamente el espesor de la lámina y las condiciones de extrusión generalmente para reducir el desperdicio de los costos dentro de la industria, que trabaja con pequeños márgenes y grandes volúmenes.
- *Moldeados técnicos de gran tamaño:* En este caso, el uso de los productos es más especializado y además la escala de moldeo es mucho mayor. Entre los productos se incluyen artículos como, lanchas, revestimientos de congelador, puertas de cocheras y tinas de baño domésticas. Estos productos son ejemplos de piezas moldeadas de estampado profundo de gran área. Las láminas que se requieren son por lo común, de hasta 3m de ancho y el diseño y control del dado del extrusor es un factor clave para controlar la calidad. Con muchos de estos productos se utilizan tramos de hasta 10m para el moldeo, se concluye que se requiere una planta a gran escala.
- *Empaque con película y tipo de burbuja:* Los artículos empacados en películas delgadas se producen masivamente por termoformado. El envase de este tipo se usa en modernas presentaciones para ventas de una gran variedad de artículos domésticos, que van desde los de ferretería como clavos, tornillos y herramientas, hasta artículos de tocador como rasuradoras desechables. Los empaques con película son aquellos donde una capa fina de materia flexible se estira apretadamente sobre los artículos colocados en una base rígida. Los empaques tipo burbuja son hojas preformadas que siguen la forma del artículo que se ha de empaquear, se sellan en la base después de introducir el artículo. Una modificación de la burbuja es el empaque "global" en el cual se usa una ampolla rígida y de forma regular, con frecuencia hemisférica.

CAPÍTULO 2

ETAPAS DE OPERACIÓN DEL TERMOFORMADO

El proceso para la realización de una pieza por medio del termoformado consiste en varias operaciones, la lámina utilizada en la termoformación es obtenida por medio del proceso de extrusión.

En este proceso, el plástico comprado como materia prima en forma de pellets tiene que ser pigmentado según el color de la lámina que se desee utilizar en el termoformado, en el caso de que esta lleve algún color.

Esto se realiza haciendo una mezcla homogénea del plástico con un pigmento especial en un recipiente cualquiera. La mezcla lleva un porcentaje específico de pigmento (ya sea orgánico o inorgánico) que varía según el tipo de plástico a utilizar.

Los pigmentos del tipo inorgánico, como el óxido de hierro y cromo, sulfuro de mercurio, naranja de cromo y azul de hierro, no pueden ser empleados para aplicaciones que se encuentran en contacto con alimentos o medicamentos, debido a la toxicidad de los metales presentes, pero por otro lado poseen mayor poder tintorial y resistencia térmica aunque tienden a ofrecer colores opacos, por el contrario los pigmentos orgánicos como son. el negro de humo, el naranja de bencidina, el rojo de toluidina y violeta de dioxacina, son recomendados para este tipo de casos, además de ofrecer mayor brillo en el artículo, sin embargo, su poder tintorial es pobre y su resistencia térmica es baja.

En la tabla 2.0.0. se muestran los principales pigmentos orgánicos e inorgánicos.

Tabla 2.0.0. Pigmentos Orgánicos E Inorgánicos.

COLOR	INORGANICOS	ORGANICOS
BLANCO	Bióxido de titanio	
AMARILLO	Amarillo de: cromo, mercadmio Óxido de hierro	Amarillo de: toluidina, bencidina Diazo de condensación Tetracloro iso-indolina Pirazolona
NARANJA	Naranja de: cromo, cadmio, mercadmio.	Naranja de: dinitroanilina, bencidina, diarilida
VERDE	Verde de cromo hidratado Óxido de hierro	Verde de ftalocianina
ROJO	Rojo de: cadmio, mercadmio Óxido de hierro	Rojo de toluidina Quinacridona, diceto-pirrol-pirrol Diazo de condensación, tio-indigo
AZUL	Azul de: hierro, cobalto, ultramar, manganeso	Azul de ftalocianina
NEGRO	Oxido de hierro, complejo de cromo	Negro de humo
VIOLETA	Ultramarino, manganeso	Violeta de: dioxacina, quinacridona
MARRÓN	Sulfuro de mercurio, cadmio	Quinacridona, tio-indigo

Una vez pigmentada la resina, es fundida por la acción de temperatura y fricción, y por medio de la extrusión se obtiene la lámina que se utiliza en el proceso de termoformado.

El termoformado como se practica en la industria está compuesto de siete pasos:

1. Posicionamiento (clamping)
2. Calentamiento.
3. Formado.
4. Enfriamiento.
5. Desmoldeo.
6. Corte de desperdicio (trimming)
7. Decoración.

2.1.0. POSICIONAMIENTO (CLAMPING)

Consiste en sujetar la lámina en el bastidor de formado mediante pinzas u otros dispositivos que impidan el desplazamiento lateral de la lámina. Si se moldea una lámina gruesa (espesor mayor a 0.25 mm) se sujeta la misma con un bastidor o pinzas, pero si la lámina se alimenta en rollo o es delgada (espesor menor a 0.25mm), puede ser sujeta con clavos que la mantengan firme durante su moldeo. Los elementos de sujeción, generalmente, son accionados neumáticamente y su forma va de acuerdo a los diseños del fabricante.

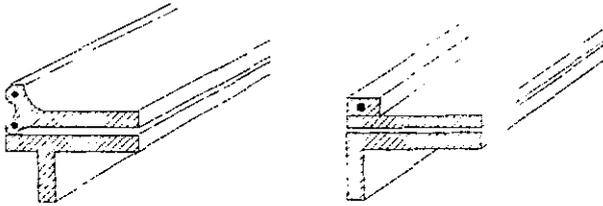


Figura 2.1.0. Bastidores De Formado O Sujeción.

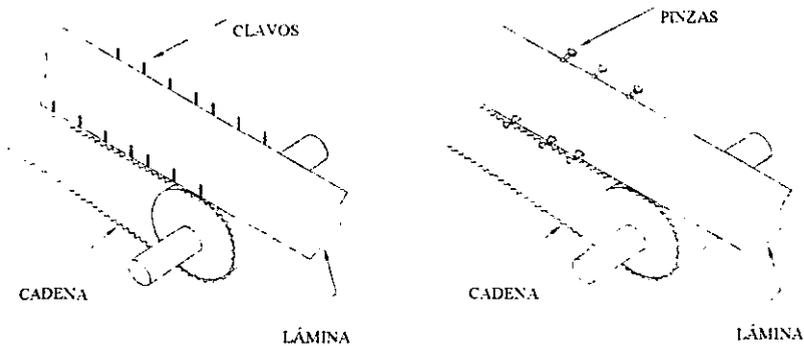


Figura 2.1.1. Sistema De Sujeción En La Etapa De Posicionamiento

2.2.0. CALENTAMIENTO

Al calentar la lámina, se reblandece a su respectiva temperatura de formado por tres métodos diferentes:

2.2.1. RADIACIÓN

Es el método más utilizado para suministrar energía directa uniforme a la lámina, se emplea para materiales de bajo calibre y puede ser aplicado en varias formas:

- Alambres en espiral de níquel – cromo.
- Calentadores en barras de acero
- Calentadores en tubos de cuarzo
- Placas de cerámica con alambres empotrados como resistencias
- Lámparas de radiación infrarroja

La forma ideal de realizar este proceso es por medio de lámparas de radiación infrarroja, las cuales van a calentar un lado o ambos lados de una lámina al mismo tiempo.

El rango de longitud de onda de la radiación para el calentamiento en el proceso de termoformado es de $0.3 \mu\text{m}$ a $20 \mu\text{m}$ y la zona de infrarrojo es de $0.7 \mu\text{m}$ a $3 \mu\text{m}$, mientras que las otras fuentes de calentamiento y radiación se salen de este rango.

El único riesgo es que el mal uso de éste puede provocar un calentamiento excesivo (posibilidad de quemado del material) y si la lámina es gruesa, existirá una mala distribución de temperatura en la superficie.

Las máquinas más modernas utilizan calentadores infrarrojos, situados de 8 a 10 cm de la lámina, de preferencia de ambos lados; siendo estos más rápidos, más fáciles de manejar y nos permiten el uso de selectores de calor, esto es, simples máscaras o sombras que se usan para prevenir que el calentamiento alcance algún área en particular.

En general, las unidades de calentamiento deben ser capaces de alcanzar una temperatura de 538° C (1000° F) y deben tener una capacidad de 3 a 6 kwatt /ft².

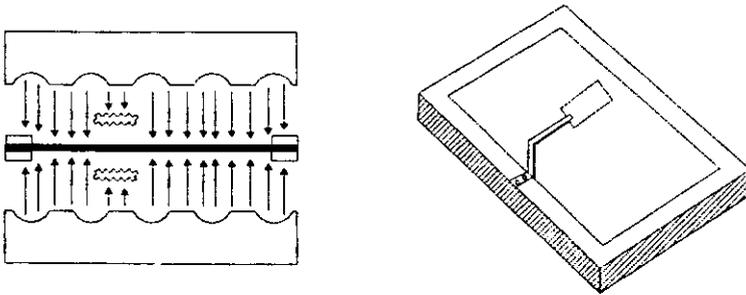


Figura 2.2.1. Calentado Preferencial Por Medio De Las Máscaras De Metal

La característica más importante de los sistemas de calentamiento es que el calor suministrado debe ser uniforme (a menos que las especificaciones digan lo contrario)

El tiempo necesario de calentamiento de la lámina para alcanzar la temperatura de formado, representa del 50 al 80% del tiempo total del ciclo de termoformado. La duración del ciclo de calentamiento necesita ser suficiente para ablandar la lámina, dependiendo del polímero, su espesor y su color. En general, el equipo de calentamiento debe ser capaz de calentar la película o lámina en un tiempo de 15 a 40 segundos. Es muy importante un rápido calentamiento para elevar la producción y tener menores costos de producción.

2.2.2. CONVECCIÓN

En este método, la fuente de calor por radiación calienta el aire atrapado entre éste y la lámina, el cual debido al fenómeno de convección se mueve con lentitud, provocando que el material iguale la temperatura del aire. Si la temperatura del aire es mayor que la temperatura de la lámina, la energía térmica pasa a esta última; en caso contrario la transferencia térmica sucede desde la lámina.

El calentamiento por convección en un horno con aire circulante es un método excelente para obtener una distribución de calor uniforme. Constituye un método mucho más lento que aquel por radiación, pero la productividad aumenta al ser varias las láminas que son posibles calentar simultáneamente.

Algunos plásticos como acrílico o ABS, tienden a encoger o colgarse cuando permanecen un cierto periodo en su temperatura de formación, de tal manera que el calentamiento con horno se restringe a los materiales de alta resistencia en fundido.

2.2.3. CONDUCCIÓN

Este sistema es el empleado por el método conocido como “de lámina atrapada”, en el que la lámina se calienta a la temperatura de formado a través del contacto con una plancha caliente porosa de material antiadherente; a través de los poros pasa aire a presión. Mediante éste método es posible el calentamiento exacto por zonas localizadas de la lámina, permitiendo la reducción de ciclos para formados profundos.

Una variante de éste método es aquel donde el material se mantiene contra la plancha metálica por medio de presión neumática hasta que la temperatura de formación se alcanza, la lámina entonces es removida mediante aire proyectado en el sentido contrario al sostenimiento, esto es a través de pequeñas aberturas en la plancha de calentamiento.

En los tres métodos de calentamiento el material sujetado se puede estirar en un intervalo de temperatura “mínimo – máximo”. A la temperatura mínima, la deformación de la lámina se realiza cuando esté blanda, pero no fundida, la pieza se deforma rápidamente. El patrón ideal de deformación se consigue cuando el material se extiende fácilmente hasta alcanzar la deformación que se necesita y seguir con una rigidización rápida para estabilizar el flujo; la lámina presenta un comportamiento elástico, el material tiende a alimentarse desde los lados estirando la lámina sin desventajas aparentes, obteniendo una superficie cuadrada con esquinas agudas.

A la temperatura máxima, la pieza se calienta demasiado hasta hacerse tan blanda y fluida, que el material tiende a degradarse (cambiar de aspecto) o se padea en el bastidor de sujeción. Existen dos causas para que se presente el padeo en las láminas calientes:

1. *Una mala orientación de la lámina.* Lo cual origina una expansión térmica en la lámina que se calienta desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de formado y es del orden del 1 al 2% en todas direcciones.
2. *El material se funde.* Ocurre cuando la viscosidad de la resina se hace demasiado baja a la temperatura de formado y la lámina cae por su propio peso. Cuando se forman láminas grandes en moldes que no son muy profundos, el padeo puede exceder el estiramiento necesario, por lo que se presentan plegamientos de la lámina.

Un secado inapropiado de la lámina puede darnos como resultado burbujas o ampollas en la parte formada y una posible pérdida de propiedades físicas; para evitar este exceso de humedad se sugiere: presecarlo; obtener el material seco del suministrador; un precalentamiento.

En la siguiente tabla se muestran las temperaturas de formación óptimas de materiales en lámina.

Tabla 2.2.0. Temperaturas De Formación Óptimas De Materiales En Lámina

MATERIAL	T° MINIMA DE FORMADO (°C)	T° DE FORMACIÓN ÓPTIMA (°C)
ABS	140	150-178
ACETATO DE CELULOSA	120	132-162
ACETATO DE BUTIRATO DE CELULOSA	100	130-160
POLIESTIRENO MEDIO IMPACTO	120	140-180
POLIESTIRENO ALTO IMPACTO	140	170-185
POLIETILENOS	108	120-135
POLIPROPILENO	170	170-185

2.3.0. FORMADO

Consiste en forzar la lámina previamente sujeta y calentada, a tomar los contornos del molde. Para ello, se requiere de una fuerza externa que puede ser de tres tipos:

- *Vacío*: Por medio de una bomba se acciona el vacío que jala la lámina hacia la superficie del molde hasta lograr que se adhiera a él.
- *Presión*: A través de aire a presión se empuja la lámina hacia el molde para que se adhiera a él y tome la forma del mismo.
- *Mecánica*: Se le denomina como formado hembra – macho y consiste en un molde con contramolde y por medio del ensamble de ambos se logra que la lámina reblandecida tome los contornos del molde.

Se describirá a continuación los métodos para el formado de material laminar; pero en la industria del empaque la mayoría de las operaciones de termoformado se realizan con películas delgadas.

Tipos de procesos

Procesos básicos o de un solo paso (una etapa)

- Formado a vacío libre
- Formado a vacío directo
- Formado a vacío en molde macho
- Formado a presión libre
- Formado a presión
- Formado mecánico

Procesos multipasos (multietapas)

- Formado a vacío con colchón de aire
- Formado a presión con colchón de aire
- Formado a vacío con retorno
- Formado a presión con retorno

Procesos con ayuda de pistón.

- Formado a vacío con ayuda de pistón
- Formado a presión con ayuda de pistón
- Formado a vacío con colchón de aire y ayuda de pistón
- Formado a presión con colchón de aire y ayuda de pistón

Procesos especiales

- Formado a vacío con deslizamiento
- Formado a presión con diafragma
- Formado de lámina atrapada
- Formado de cuerpos huecos
- Formado multicapa

2.3.1. PROCESOS BÁSICOS O DE UN SOLO PASO (UNA ETAPA)

2.3.1.1. FORMADO A VACÍO LIBRE

En esta técnica la forma de macho o hembra no se requieren. La lámina termoplástica se sujeta sobre una caja de vacío sin molde y se suaviza por calentamiento. La sección se estira sin tocar las paredes de la caja, se forma una semiesfera a las dimensiones deseadas, la cual se mantiene a vacío y se enfría sobre el perfil. De este modo pueden conformarse libremente ciertas formas. Esto evita maltratar la superficie, lo que es ventajoso en productos donde se desea una excelente claridad óptica.

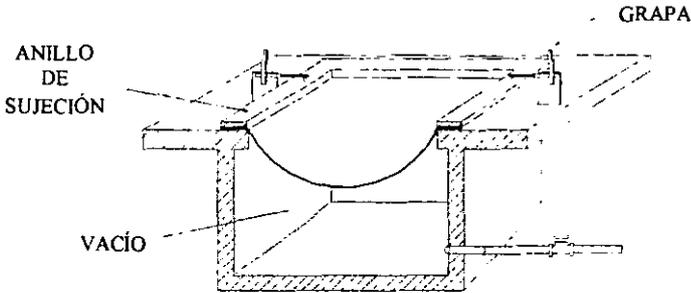


Figura 2.3.1.1. Formado A Vacío Libre

Ventajas:

- Muy bajo costo
- Facilidad de moldeo
- No se requieren moldes

Desventaja:

- Sólo se pueden obtener burbujas

Aplicaciones:

- Parabrisas de cubiertas transparentes
- Cabinas de avión

2.3.1.2.FORMADO A VACÍO DIRECTO.

El termoformado más antiguo es el formado a vacío directo (llamado simplemente formado al vacío en sus inicios, en los años cincuenta) en el cual se usa presión negativa para adherir la lámina precalentada dentro de la cavidad del molde. El proceso se explica en la figura 2.3.1.2. (a) en su forma más básica. Los agujeros para hacer vacío en el molde son del orden de 1/32 in (0.8 mm) de diámetro, así sus efectos en la superficie del plástico son menores

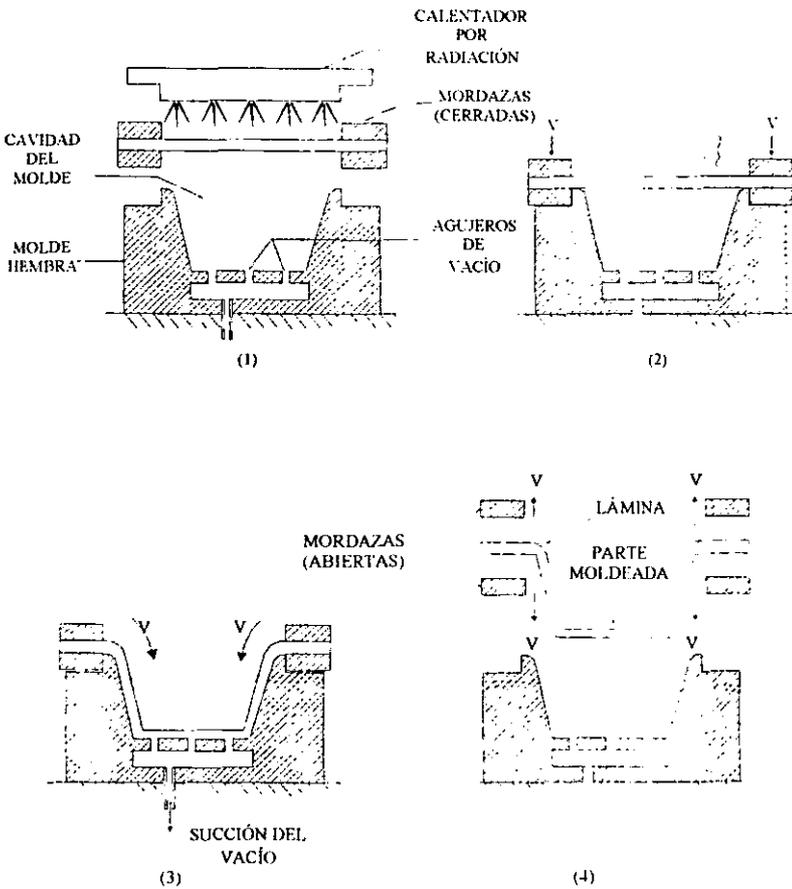


Figura 2.3.1.2. (a) Proceso De Formado Al Vacío

1. Se suaviza una lámina plana de plástico por calentamiento
2. Se coloca sobre la cavidad de un molde cóncavo.
3. El vacío atrae la lámina hacia la cavidad.
4. El plástico se endurece al contacto con la superficie fría del molde, la parte se retira y luego se recorta de la lámina.

En la figura 2.3.1.2. (b) se muestra la distribución del espesor en un molde hembra.

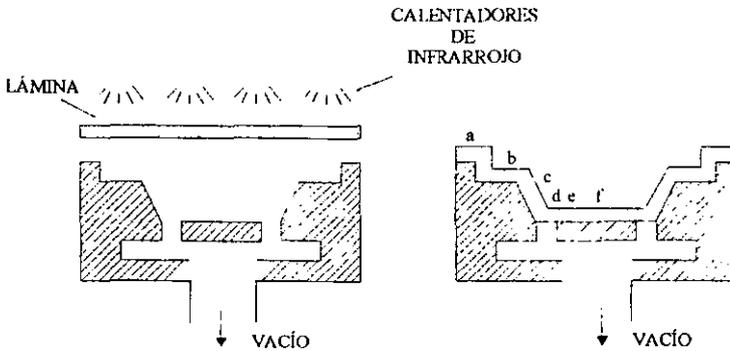


Figura 2.3.1.2. (b) Distribución Del Espesor En El Formado Por Vacío En Un Molde Hembra.

El espesor es a) 1.02 mm, b) 1.02 mm, c) 0.65 mm, d) 0.50 mm, e) 0.50 mm, f) 0.75 mm.

Esta técnica es la más común para la deformación de láminas calientes y reblandecidas; su objetivo al disminuir la presión en un lado, es que la presión atmosférica deforme la lamina en el otro lado. La lámina se estira en el molde. La fuerza está limitada por la presión atmosférica que es de 10 a 12 lb/in². Este método es el más adecuado para la utilización de insertos y resaltos.

Ventajas:

- Sencillez en moldes
- Facilidad de procesamiento
- Versátil, con bajos costos de producción y gran proyección.

-
Desventajas:

- No se logra uniformidad
- Profundidad limitada
- Fondo y esquinas delgadas y borde grueso

Aplicaciones:

- Charolas
- Platos desechables
- Protectores y separadores de fruta
- Protecciones de cosméticos
- Protecciones de fármacos
- La gran mayoría de blister-pack

2.3.1.3. FORMADO A VACÍO EN MOLDE MACHO

Se coloca la lámina sobre el molde macho, se sujeta mediante el bastidor y se calienta hasta ablandar la lámina, enseguida se retira el calentador, se conecta al vacío y la lámina se estira adaptándose al contorno del molde. El proceso se explica en la figura 2.3.1.3. (a) en su forma más básica.

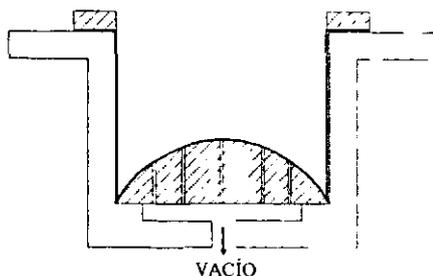


Figura 2.3.1.3. (a) Formado A Vacío En Molde Macho

La diferencia principal del formado a vacío directo y en un molde macho, está en la distribución del espesor. En la figura 2.3.1.3.(b) se muestra la distribución del espesor en un molde macho.



Figura 2.3.1.3. (b) Distribución Del Espesor En Un Molde Macho.

El espesor es en a) 1.27 mm, b) 0.65 mm, c) 0.25 mm, d) 0.40 mm, e) 0.50 mm, f) 1.27 mm, g) 1.27 mm.

Ventajas:

- Fácil desmoldeo de las piezas.
- Se pueden utilizar moldes más complicados que en el caso anterior.
- Moldes más económicos que en el caso anterior.

Desventajas:

- No se logra uniformidad en el espesor
- Fondo y esquinas gruesas.
- Paredes delgadas
- Se generan más desechos que en el caso anterior.

Aplicaciones:

- Blisters en los que se desee proteger el producto, blister unido con cartón

2.3.1.4. FORMADO A PRESIÓN LIBRE

En este proceso se carece de moldes. Un sensor determina la altura de la burbuja. Para fabricar la burbuja, se calienta la lámina y se coloca sobre la cámara de presión, inyectando aire hasta que la burbuja alcanza la altura deseada. Para dividir la burbuja en varias más pequeñas se colocan encima de la lámina marcos o barras. El proceso se observa en la figura 2.3.1.4.

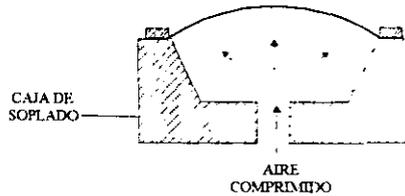


Figura 2.3.1.4. Formado A Presión Libre.

Ventajas:

- Muy bajo costo
- Facilidad de moldeo
- No se requieren moldes

Desventajas:

- Sólo se pueden obtener burbujas
- El control del tamaño de la burbuja depende de la exactitud del sensor y la habilidad del operador.

Aplicaciones:

- Todo el bubble – pack y protecciones que sean semiesféricas.

2.3.1.5. FORMADO A PRESIÓN

En este proceso se sigue el principio de vacío. Para ayudar a bajar la lámina hasta el fondo del molde, se coloca sobre esta una cámara de presión y se inyecta aire; de esta forma, la lámina alcanza la profundidad total y se puede reducir un poco el adelgazamiento de las paredes, al ejercer dos fuerzas en el momento del formado. La secuencia del proceso es similar al termoformado a vacío; la diferencia es que la lámina se presiona desde arriba hacia la cavidad del molde. Los agujeros de ventilación dejan salir el aire atrapado.

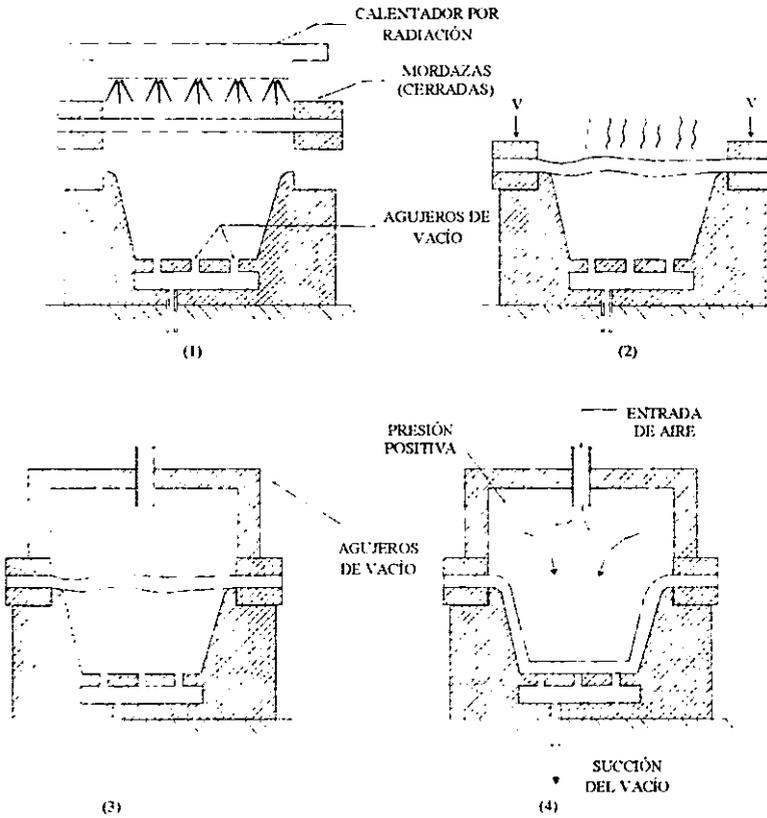


Figura 2.3.1.5. Formado A Presión

1. Se suaviza una lámina plana de plástico por calentamiento.
2. La lámina se coloca sobre una cavidad del molde.
3. La presión positiva fuerza a la lámina dentro de la cavidad cóncava (molde negativo)
4. El plástico se endurece al contacto con la superficie fría del molde, la parte se retira y luego se recorta la lámina.

Ventajas:

- Se alcanzan mayores profundidades.
- La diferencia en el espesor de pared se reduce.
- Su ventaja sobre el formado a vacío radica en que se pueden desarrollar presiones más altas, ya que en el formado a vacío, este parámetro se limita a un máximo teórico de una atmósfera. Son comunes las presiones de formado de tres a cuatro atmósferas.

Desventajas:

- Se requiere de dos sistemas: uno de vacío y otro de inyección de aire.
- Costoso

Aplicaciones:

- Para piezas de superficie muy detallada.
- Para materiales difíciles de termoformar, como el polipropileno.

2.3.1.6. FORMADO MECÁNICO

Se le denomina como formado hembra – macho y consiste en un molde con contramolde (positivo - negativo) Y por medio del ensamble de ambos se logra que la lámina reblandecida tome los contornos del molde.

En el método de formado mecánico no se usa vacío ni presión de aire. El formado se realiza utilizando una prensa hidráulica o neumática. La presión que se aplica es de 50 psi (3.4 kg/cm²) y llega a ser de 150 psi (10 kg/cm²). Es recomendable utilizar moldes de aluminio, por su excelente conductividad térmica y que estos estén provistos de perforaciones para el escape de aire.

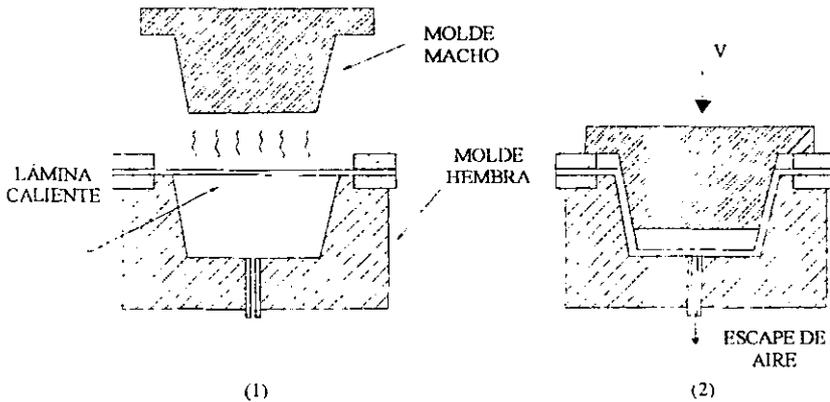


Figura 2.3.1.6. Formado Mecánico

1. La lámina caliente del plástico se coloca sobre el molde negativo.
2. Se cierra el molde para conformar la lámina.

Ventajas:

- Uniformidad en el espesor
- Ciclo de formado corto
- Posibilidad de detallar la superficie en ambos lados de la pieza

Desventajas:

- Se requieren las dos mitades del molde, por lo que se eleva el costo de los mismos.
- Se requiere de una prensa

Aplicaciones:

- Recipientes con tapa pelable.
- Artículos de poliestireno espumados, charolas, platos, bandejas, empaques de huevo.

2.3.2. PROCESOS MULTIPASOS (MULTIETAPAS)

También existen procesos de dos o más pasos, en los que se involucran fuerzas para el formado, obteniendo productos de mayor calidad. Esto es debido a que una primera fuerza estira previamente la lámina y una segunda fuerza la forma. De esta manera, la lámina modifica sus dimensiones antes de adquirir la forma final para que el producto terminado tenga uniformidad en el espesor de sus paredes.

2.3.2.1. FORMADO A VACÍO CON COLCHÓN DE AIRE

Sigue el principio de formado a vacío directo, antes de aplicarlo, se forma una burbuja inyectando aire que estira la lámina. Las láminas se conforman por presión de aire y de hecho se soplan contra el molde. Este proceso se usa cuando se desea formas más complicadas y no hay objeción a los defectos superficiales que puedan presentarse. Usando sobre el molde grasas sintéticas especiales se disminuye de una forma notable la tendencia a la aparición de marcas en la parte formada. En la figura 2.3.2.1. se muestra el proceso.

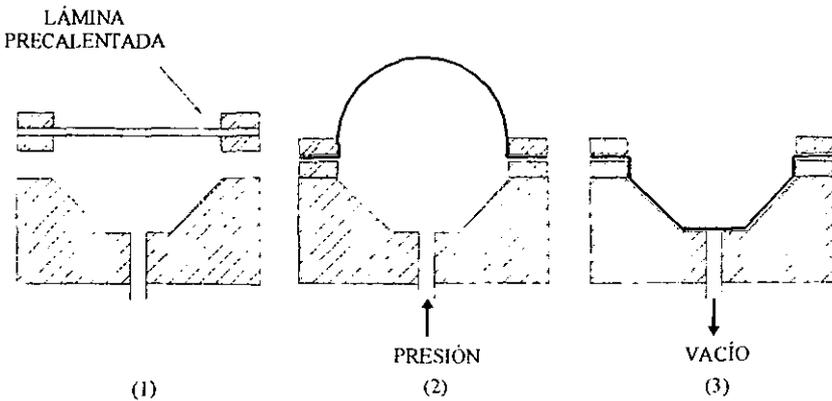


Figura 2.3.2.1. Formado Por Vacío Con Colchón De Aire.

1. Se coloca la lámina sobre el bastidor y se calienta.
2. El bastidor baja hasta adaptarse al molde, se inyecta aire comprimido para formar una burbuja y baja el núcleo asistente dentro de ella, soplando a su vez aire precalentado.
3. La lámina se estira entre dos capas de aire. Se aplica vacío haciendo que la lámina se adopte al contorno del molde para formar la pieza deseada.

2.3.2.2. FORMADO A PRESIÓN CON COLCHÓN DE AIRE

En este caso se forma una burbuja y cuando la lámina toca el molde éste baja hasta cerrar la cámara y logra que la presión haga que la lámina se adhiera a él. En la figura 2.3.2.2. se muestra el proceso.

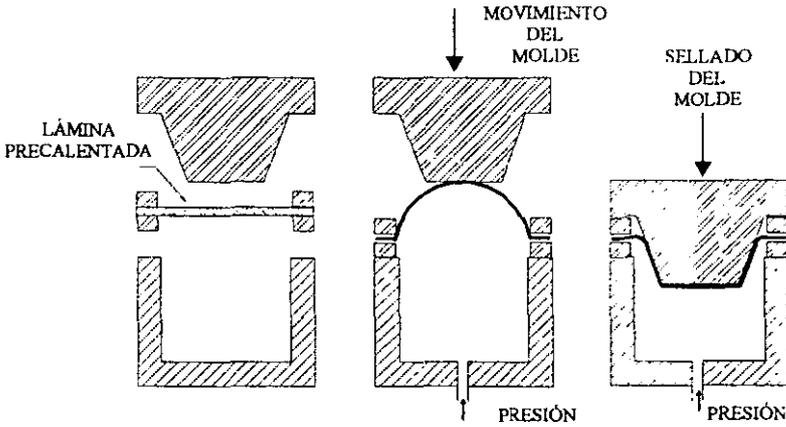


Figura 2.3.2.2. Formado A Presión Con Colchón De Aire

2.3.2.3. FORMADO A VACÍO CON RETORNO.

Es semejante al caso anterior, sólo que la burbuja en lugar de generarse por presión se produce al aplicar vacío y ésta no toca el molde hasta que se cierra la cámara. Después de que se ha sujetado la lámina caliente, se crea un vacío en la caja, que hace que la lámina caliente sea absorbida hacia abajo y aprovechando su elasticidad, se introduce el molde macho en la lámina formada y se va reduciendo el vacío gradualmente, lo que hace que la lámina regrese contra la forma del molde. En la figura 2.3.2.3. se muestran los pasos del proceso.

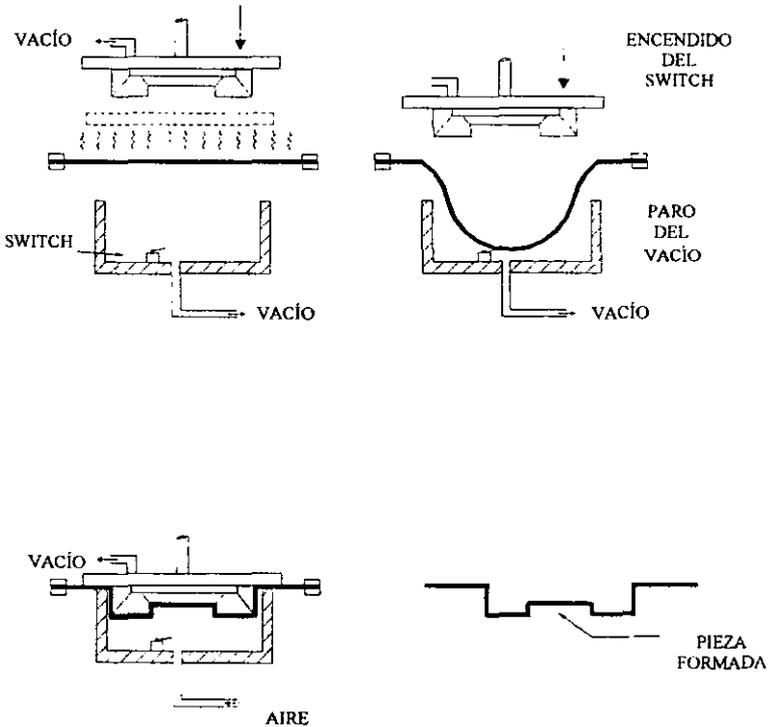


Figura 2.3.2.3. Formado A Vacío Con Retorno.

2.3.2.4. FORMADO A PRESIÓN CON RETORNO.

En este caso, la presión crea la burbuja y la fuerza que logra que la lámina adquiera la forma del molde, genera una burbuja inversa a la cavidad final del recipiente.

Los pasos del proceso se observan en la figura 2.3.2. 4.

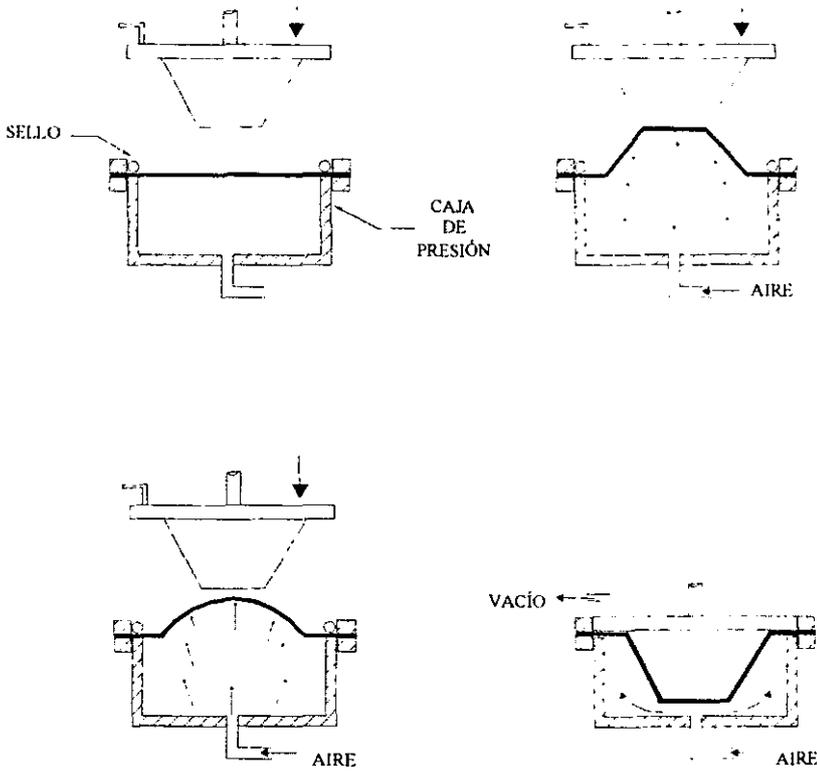


Figura 2.3.2.4. Formado A Presión Con Retorno

2.3.3. PROCESOS CON AYUDA DE PISTÓN

En algunos casos, además del uso del aire ya sea como presión o fuerza de vacío para lograr un previo estiramiento, el proceso se auxilia de medios mecánicos como un pistón para alcanzar grandes profundidades antes de efectuar el proceso de formado total. Esto se podría considerar casi como una orientación de los recipientes y se presenta para casos especiales. Los procesos utilizados son:

2.3.3.1. FORMADO A VACÍO CON AYUDA DE PISTÓN.

Es similar al formado a vacío pero antes de aplicarlo, un pistón hace descender la lámina hasta que toque el molde. Esto puede ser utilizado para casos de formado de piezas muy profundas en el moldeado de materiales difíciles de termoformar. El proceso se explica en la figura 2.3.3.1.

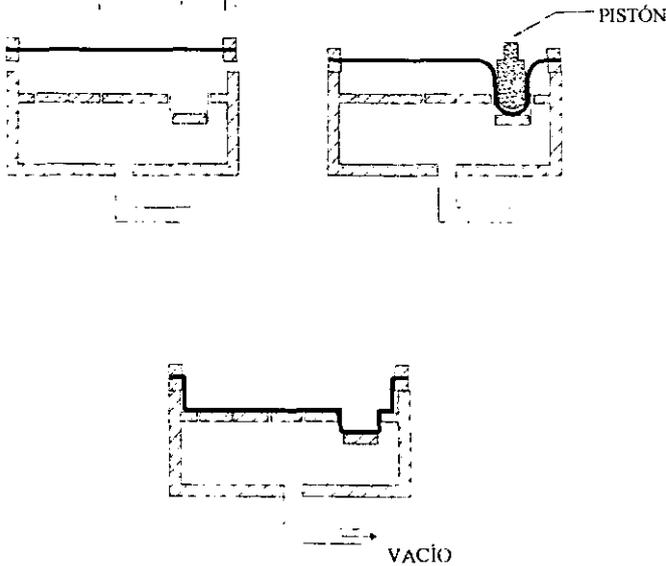


Figura 2.3.3.1. Formado A Vacío Con Ayuda De Pistón.

2.3.3.2. FORMADO A PRESIÓN CON AYUDA DE PISTÓN.

El proceso es semejante al sistema de formado a presión, con la diferencia de que en este tipo se auxilia de un pistón. En la figura 2.3.3.2. se muestra el proceso.

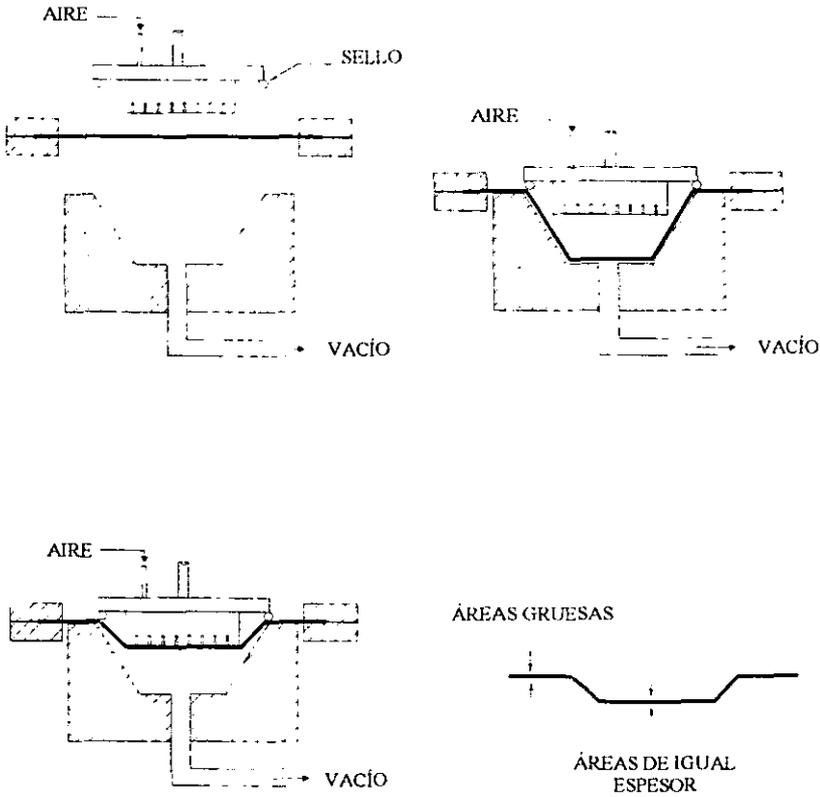


Figura 2.3.3.2. Formado A Presión Con Ayuda De Pistón

2.3.3.3. FORMADO A VACÍO CON COLCHÓN DE AIRE Y AYUDA DE PISTÓN.

Primero se genera una burbuja para estirar la lámina, después un pistón la baja hasta que toque el fondo del molde y finalmente se aplica vacío para que el material se adhiera al molde y adquiera la forma final. En la figura 2.3.3.3. se muestran los pasos del proceso.

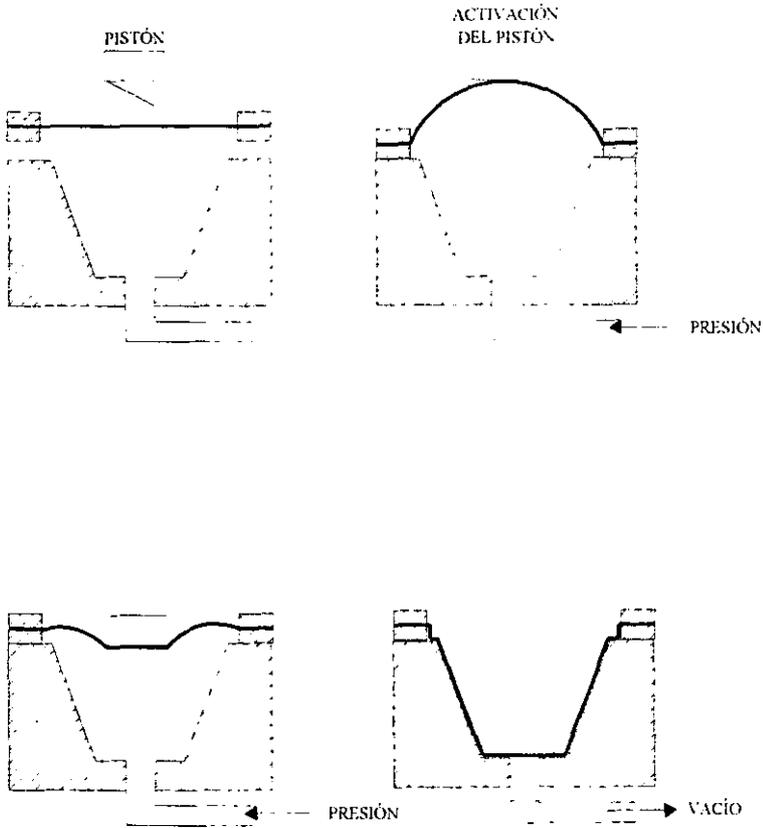


Figura 2.3.3.3. Formado A Vacío Con Colchón De Aire Y Ayuda De Pistón.

2.3.3.4. FORMADO A PRESIÓN CON COLCHÓN DE AIRE Y AYUDA DE PISTÓN.

También en este caso se produce una burbuja: la diferencia con el proceso anterior consiste en que para hacer bajar la lámina se ayuda del pistón y de aire a presión, formando la lámina al aplicar vacío. El proceso se muestra en la figura 2.3.3.4..

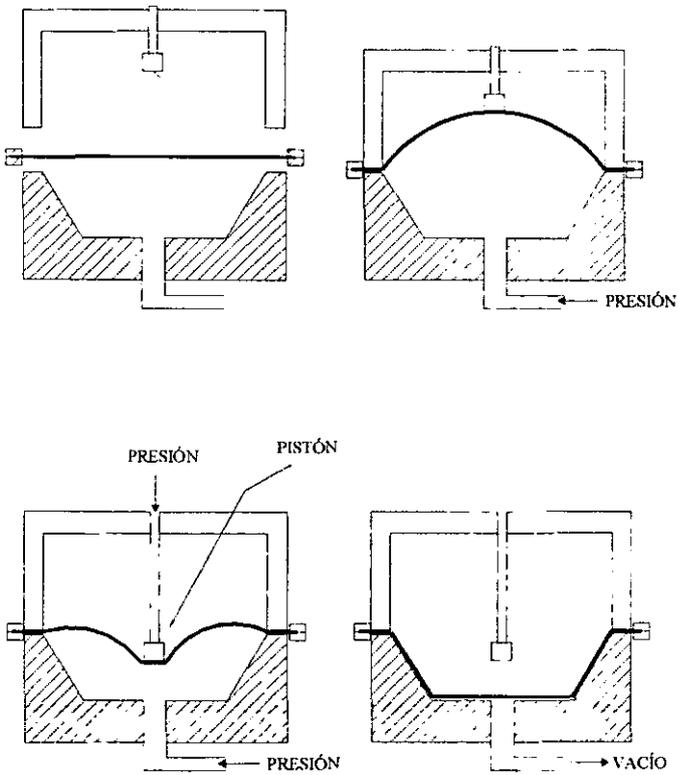


Figura 2.3.3.4. Formado A Presión Con Colchón De Aire Y Ayuda De Pistón.

2.3.4. PROCESOS ESPECIALES.

Existen otros procesos que son particulares para cada material o aplicación.

2.3.4.1. FORMADO A VACÍO CON DESLIZAMIENTO.

En esta variante, la lámina reblandecida no se sujeta con firmeza, sino que se hace por medio de unos resortes que le proporcionan la posibilidad de moverse. En el momento de aplicar vacío, la lámina no sólo se estira, sino que también se desliza para no adelgazar demasiado su espesor. Cuando la lámina ha bajado suficientemente, se aplica presión sobre ella para sostenerla y aplicar el vacío total hasta que la pieza quede totalmente terminada. El proceso se explica en la figura 2.3.4.1.

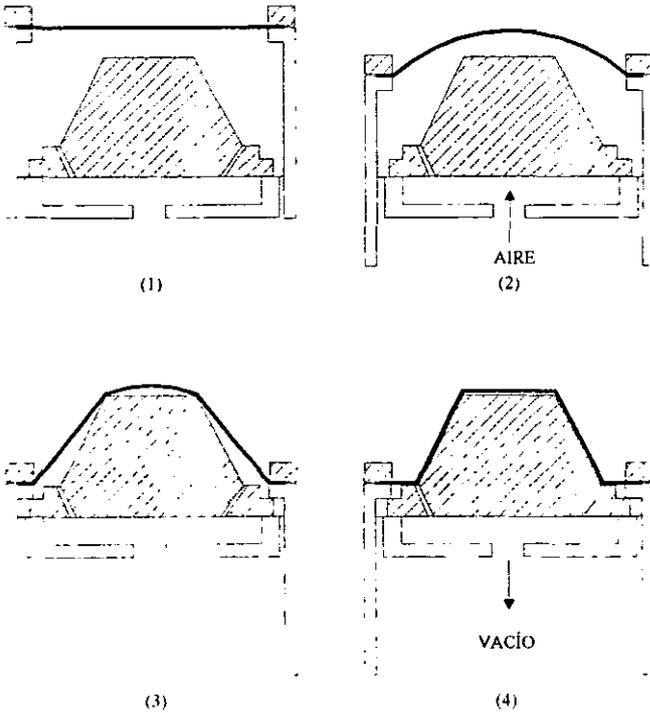


Figura 2.3.4.1. Formado A Vacío Con Deslizamiento.

1. La lámina caliente se sujeta por medio de unos resortes
2. Se inyecta aire comprimido para formar una burbuja, enseguida se sube el molde hasta tocar el bastidor, desconectando el aire.
3. La lámina se desliza sobre los contornos del molde.
4. Se aplica vacío inmediatamente para lograr piezas que reproduzcan los detalles del molde con una mayor precisión.

2.3.4.2. FORMADO A PRESIÓN CON DIAFRAGMA.

Se utiliza para plásticos como el PET, que tiende a ser muy quebradizo y puede reventarse por el estiramiento durante el proceso de formado. Ello sucede porque durante la etapa de calentamiento, el material se reblandece y puede ser estirado fácilmente, pero con un ligero enfriamiento tiende a endurecerse y a fracturarse en el momento de estirarlo. Así en el proceso se utiliza un diafragma de caucho que puede ser calentado y sobre él se coloca la lámina ya reblandecida. El diafragma mantiene a la lámina tibia y reblandecida, por eso es fácil de estirar. Posteriormente, el diafragma se infla para estirar la lámina y hacerla llegar al fondo del molde, y con aire a presión, se logra que la lámina se adhiera totalmente al molde y adquiera su forma definitiva.

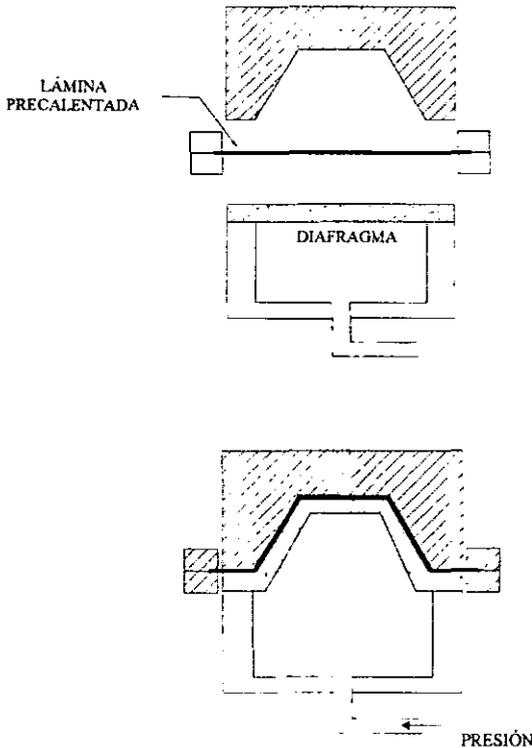


Figura 2.3.4.2. Formado A Presión Con Diafragma.

2.3.4.3. FORMADO DE LÁMINA ATRAPADA.

Se utiliza para materiales altamente orientados como: el poliestireno orientado (OPS) o materiales sensibles a la temperatura como el polietileno y el polipropileno. En esta técnica se coloca la lámina sobre el bastidor cerrando el bastidor, por lo que la lámina queda atrapada y se calienta hasta la temperatura de formado, posteriormente el molde baja hasta la temperatura deseada y se retiran los calentadores, de inmediato se aplica aire comprimido soplando la lámina contra el molde, ya enfriada la pieza, se abre el molde y se retira del mismo. Esta técnica se utiliza en general para fabricar tapas para envases y recipientes para alimentos. El proceso se ilustra en la figura 2.3.4.3.

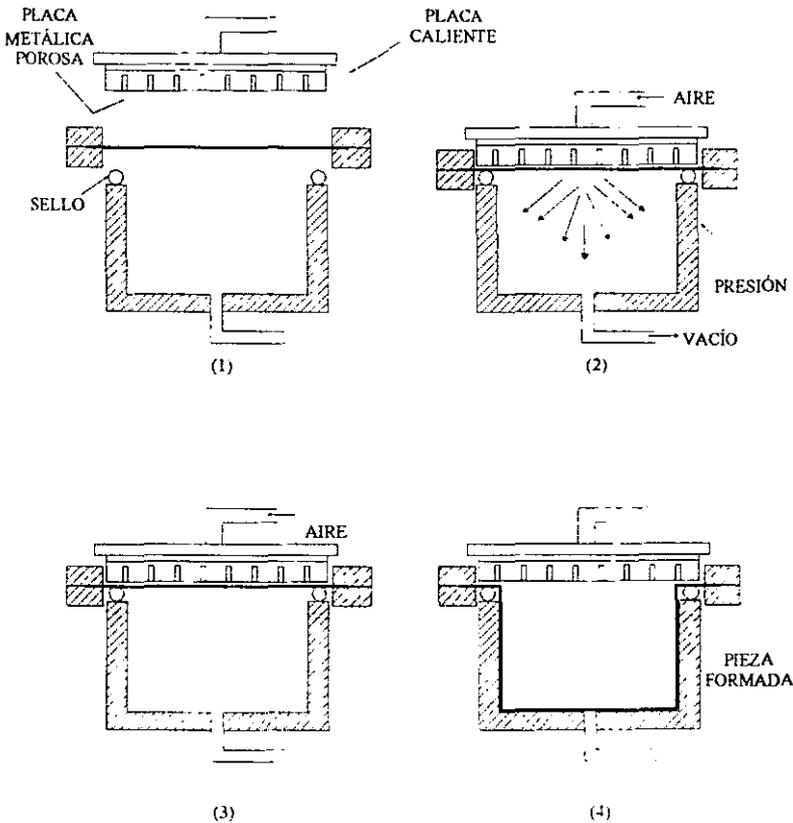


Figura 2.3.4.3. Formado De Lámina Atrapada.

1. La lámina se coloca sobre el bastidor.
2. Se cierra el bastidor atrapando la lámina y se calienta.
3. Se retiran los calentadores
4. Se aplica aire comprimido soplando sobre la lámina contra el molde. Se abre el molde y se retira la pieza

2.3.4.4. FORMADO DE CUERPOS HUECOS.

Ha sido durante años un proceso técnicamente viable. Consiste en precalentar dos láminas separadamente y llevarlas, posteriormente a un arreglo doble de moldes hembra. Una pipeta de soplado es colocada entre ambas láminas, que una vez fijadas juntas, son "infladas" con aire a presión contra sus respectivos moldes. Por este método se producen superficies huecas que pueden ser llenadas con PUR (Espumado) para dar mayor rigidez. Para artículos de alta capacidad, esta técnica compite con el proceso de soplo. El proceso se ilustra en la figura 2.3.4.4.

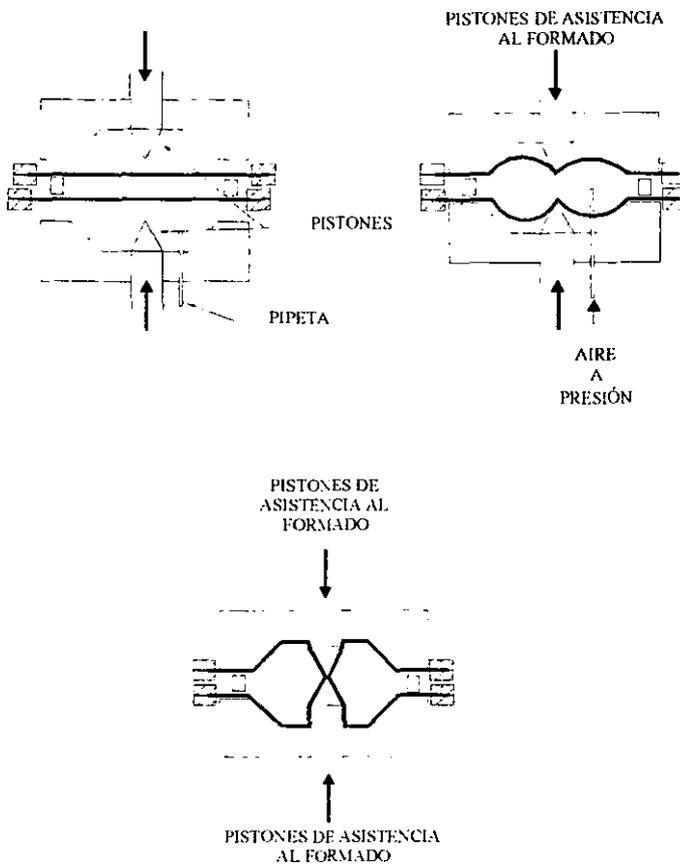


Figura 2.3. 4.4. Formado De Cuerpos Huecos

2.3.4.5. FORMADO MULTICAPA

Se emplea para artículos donde se requiere presentar una barrera al oxígeno. Los materiales desarrollados más efectivos de barrera, son esencialmente plásticos incompatibles (PP, PA, PET, PVDC, entre otros). Los reactores de desecho en láminas coextruidas con alguno de estos materiales no pueden ser usados. Como resultado se desarrolló una variación del proceso de formado de cuerpos huecos, donde láminas individuales son alimentadas desde rodillos independientes hacia los precalentadores y llevadas juntas posteriormente, a la estación de formado. Una vez que el producto multicapa formado ha sido recortado, las capas individuales pueden ser separadas y limpiadas para ser recicladas y producir una nueva lámina multicapa. Las capas de material en el producto formado sólo están adheridas por contacto y pueden ser deslaminadas por malos tratos.

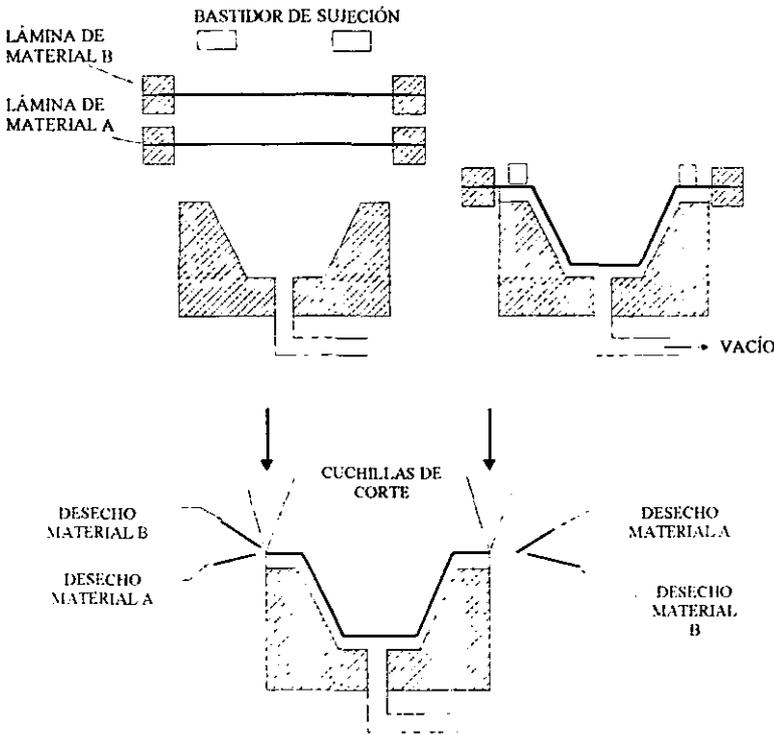


Figura 2.3.4.5. Formado Multicapa

2.4.0. ENFRIAMIENTO

Se deja la pieza sostenida en el paso de formado hasta que solidifique, o bien, dependiendo de los requerimientos del proceso se implementa un sistema de enfriamiento que puede ser:

- Introduciendo agua al molde por algunos canales.
- Forzando aire a presión sobre la pieza terminada.
- Rociando como spray un poco de agua sobre la pieza. Esta forma es poco común y sólo se aplica cuando el material no presenta problemas en sus propiedades mecánicas por humedad.

El enfriamiento adecuado de la pieza formada es un factor importante en el proceso de termoformación. Dependiendo del control del tiempo será el encogimiento de la pieza. Esta etapa en algunas operaciones puede llegar a ser la fase que consuma más tiempo de todo el proceso entero. Es importante encontrar la temperatura donde el material usado sea dimensionalmente estable, para prevenir daños en el momento del desmoldeo. Para enfriar la parte en el mínimo tiempo, los moldes son usualmente hechos de materiales que tienen alta conductividad térmica, como el aluminio.

El material no debe enfriarse rápidamente para evitar fatiga térmica que genera distorsión y pobres características mecánicas. Por esta razón, muchos materiales son mantenidos en temperaturas de 35 a 65°C (de 95 a 149 °F) o más altas. Las temperaturas de los moldes se deben mantener, ya sea por circulación de agua o elementos eléctricos.

Para acelerar el enfriamiento de la pieza formada, se utilizan ventiladores que envían aire frío directamente a la pieza aún cuando esta se encuentra en el molde. Se debe enfriar de preferencia con aire, debido a que el agua puede manchar los artículos.

2.5.0.DESMOLDEO.

Después de enfriada la pieza, es extraída del molde y se desprende de las pinzas sujetadoras. Si la pieza se ha encogido fuertemente alrededor del molde, es removida por levantamiento de aire o presión dentro del molde el cual forza la parte hacia fuera.

Los moldes utilizados dependiendo de la capacidad a producir pueden ser de: yeso, madera, resina o metales. Independientemente del material en que estén elaborados, deben contar con huecos de vacío, los cuales deben ser lo más pequeño posible. Es necesario contar con canales de agua para que la diferencia de temperatura entre la entrada y salida sea de quince grados como máximo.

2.6.0. CORTE DE DESPERDICIO (TRIMMING)

Una vez terminado el ciclo de formado, se corta la parte innecesaria o no deseada de la lámina. Este corte se realiza a través de:

- *Técnicas tradicionales:* sierra (tipo circular y de cinta) y router.
- *Procesos automáticos:* compresión, desgarre, láser y agua a presión

Para seleccionar la técnica o proceso adecuado se consideran los siguientes parámetros:

- Tamaño de la pieza.
- Medida de la lámina
- Profundidad de la parte
- Velocidad del corte
- Costos.
- Abrasión

Antes de decidir el tipo de operación del corte, la extensión del encogimiento del artículo debe ser determinada. Como en el enfriamiento la parte va a ser encogida en todas direcciones, la mayoría del encogimiento ocurre mientras la parte alcanza la temperatura ambiente, de cualquier manera algunos encogimientos pueden continuar por 15 a 30 minutos durante el enfriamiento.

2.6.1. TÉCNICAS TRADICIONALES.

2.6.1.1. SIERRAS

Estas sierras pueden ser de tipo circular y de cinta. La sierra circular es la herramienta eléctrica más usada, se debe sujetar firmemente la lámina y alimentar con presión y velocidad uniforme para evitar estrellamientos o calentamientos.

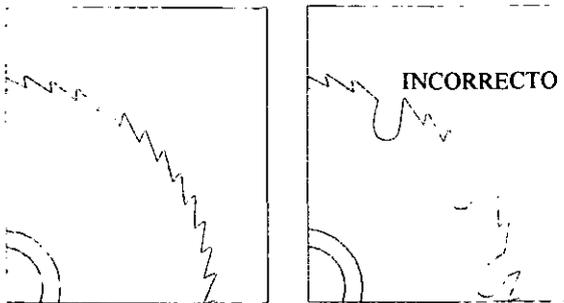


Figura 2.6.1.1. Corte Por Sierra Circular

Para hacer curvas en láminas planas delgadas, es conveniente usar sierras tipo cinta, con una recomendación de tres dientes por cm y evitar que la lámina a cortar se doble ya que si sucede, ésta se puede rajar.

2.6.1.2. CORTE CON ROUTER.

El Router, es una herramienta muy versátil ya que se pueden realizar cortes sumamente rectos, curvas uniformes, perforaciones de pequeño y gran tamaño, puede utilizarse en forma fija o manual.

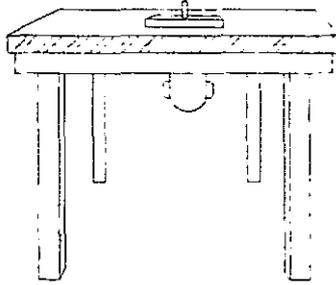


Figura 2.6.1.2. Corte Con Router

2.6.2. PROCESOS AUTOMÁTICOS.

Cuando se requiere un alto nivel de automatización se utilizan los mecanismos de compresión, desgarre, láser y abrasión. Siendo la compresión y desgarre los más utilizados. En estos procesos la capacidad de corte no está limitada a una dirección o plano, de ahí que prácticamente se puede realizar cualquier tipo de corte o perforación.

2.6.2.1. COMPRESIÓN.

Es el equivalente al troquelado de golpe o suajado, se basa en una fuerza que se aplica a una superficie plana, donde la placa que ejerce la fuerza consiste en una cuchilla metálica o en un fleje que toma la forma del corte deseado y que a la vez actúa como cuchilla. Cuando en el corte, por fleje no existe exactitud el corte con troquel de golpe se realiza simultáneamente en el momento de formado.

Por lo general, este proceso se utiliza cuando el material a termoformar aún se encuentra caliente y en espesores delgados, siendo recomendable también que los cuchillos estén a una temperatura entre 40 y 60° C. Se han obtenido buenos resultados con cuchillos afilados por un solo lado con un ángulo de 45-60°, el área vertical de las cuchillas tiene que estar de cara a la pieza a troquelar. Esta técnica de corte funciona mejor en plásticos como poliestileno, acetato y PVC.

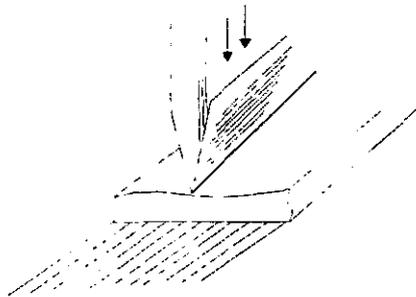


Figura 2.6.2.1. Sistema De Corte Por Compresión.

2.6.2.2. DESGARRE

Es el sistema denominado como troquelado, consiste en aplicar fuerza por arriba y por debajo de la lámina para lograr el desgarre del material. También se le conoce como corte con cizalla. De esta forma, operan las máquinas donde primero se realiza el formado y después el corte. El troquelado de una pieza depende de la temperatura de la lámina y del tipo de cortador. Para espesores de película debajo de 1mm el troquelado se lleva a cabo fácilmente teniendo un tiempo de enfriamiento de 1 a 2 minutos. En espesores arriba de 3 mm y para piezas grandes, el cortado es en condiciones ambientales.

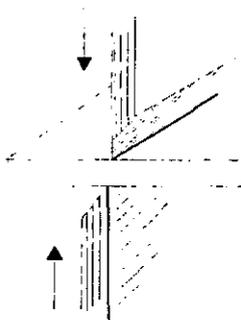


Figura 2.6.2.2. Sistema De Corte Por Desgarre.

2.6.2.3. AGUA A PRESIÓN

El sistema abrasivo de corte con agua a presión permite cortar todos los materiales sin producir calentamiento, dejando un excelente acabado en la superficie de corte y disminuye el desperdicio por tener un área de corte muy reducida. El agua es proyectada por una boquilla a altísimas velocidades, que alcanzan los 1000 m/s. La velocidad de corte es bastante alta, aunque la presión que ejerce el líquido sobre el plástico limita la aplicación de este corte a materiales con alta resistencia a la flexión y a la tensión, así como también que muestren baja elongación, como por ejemplo plásticos altamente reforzados o cargados.

2.6.2.4. LÁSER

El corte por láser es una técnica muy versátil; ya que se puede aplicar en una gran variedad de materiales, se tiene alta precisión de corte y flexibilidad de manufactura. Sin embargo, su aplicación práctica es mínima, debido al costo de inversión y mantenimiento contra las técnicas tradicionales.

Un equipo láser podrá cortar, soldar y devastar superficies de hasta 30 mm de espesor, debido a que la energía láser se concentra en un solo punto y la generación de calor se puede limitar a una zona mínima con la que no se obtiene deformación por calor ni cambios estructurales en el material. Un equipo láser podrá cortar hasta 1/2 pulgada de acrílico a una velocidad de 30 cm/min.

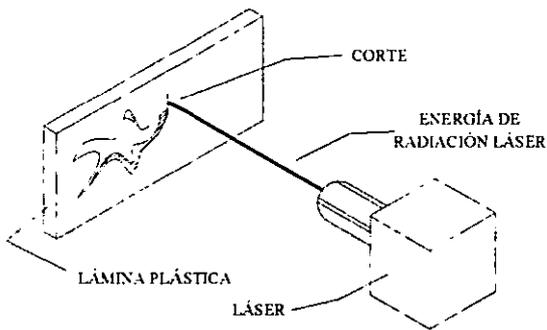


Figura 2.6.2.3. Sistema De Corte Por Láser

2.7.0. DECORACIÓN.

Sólo en algunas ocasiones se incluye y es para adicionar marcas registradas, diseños, etc. El acabado final consiste en una impresión previa y pulido. La impresión se hace previa al formado de la lámina y puede realizarse utilizando diversas técnicas:

- *Flexografía*: Es una forma de impresión por tipografía en donde se hace uso de placas de hule flexible. La tinta se aplica a las superficies realzadas de la placa y se transfiere al sustrato por contacto directo. La velocidad de los cilindros es de 400 m/seg. La temperatura de secado varía en base al material utilizado.
- *Rotograbado*: Se usa para láminas cortadas en rollo. Es una forma de impresión con placas planas. El cilindro se sumerge en un recipiente de tinta. Al mismo tiempo que el cilindro da vuelta este se lleva la tinta sobre la superficie entera. Entre la tinta y la superficie a grabar se coloca un cilindro para quitar de la superficie las porciones alzadas. La velocidad del cilindro es de 150 a 300 m/seg, y el diámetro del rodillo de 7.5 cm.
- *Litografía*: La imagen que se va a imprimir sobre la pieza es fotográficamente transferida a una placa que ha recibido un tratamiento químico previo. Esta superficie presenta dos partes: una de ellas, la que recibió el tratamiento químico; la otra que no ha recibido dicho tratamiento y que puede contener dentro de sí misma una pequeña capa de agua para estar siempre húmeda. Cuando la tinta, que contiene aceite dentro de su estructura, es transferida a la placa, esta sólo se adhiere a la parte donde se ha llevado a cabo el tratamiento químico, para que posteriormente mediante una palanca similar a un sello de goma, la imagen se levanta y se transfiere a la lámina o pieza a imprimir.

En las piezas termoformadas de espesor grueso, se deben pulir sus bordes por medio de banda o disco, cuidando de no calentar demasiado las piezas para evitar deformaciones en las mismas.

2.8.0. VARIABLES DE PROCESO.

Durante las fases de calentamiento, formación y enfriamiento del proceso, un número de variables pueden afectar la uniformidad final de la parte. Las principales son:

2.8.1. TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO.

Si por alguna razón el calentamiento es no uniforme se va a producir en la pieza formadas tensiones internas, originando que el producto final no sea uniforme.

El calentamiento por zonas es una técnica en la que se varía el calor de radiación y se utiliza para disminuir el efecto de no-uniformidad en el espesor de la pieza. Se realiza controlando la intensidad de corriente de los elementos de calentamiento en las zonas que se requiera.

2.8.2. VELOCIDAD DEL ESTIRADO.

La velocidad del estirado es otro de los factores importantes, ya que si ésta es muy lenta puede provocar el estrechamiento o fractura de la lámina, provocando un enfriamiento prematuro, con consecuencias de no-uniformidad en la parte final.

Un estiramiento rápido puede causar un adelgazamiento excesivo en las esquinas o zonas críticas, debido a que el material no fluye con suficiente rapidez.

2.8.3. VACÍO INSUFICIENTE.

En la parte de formación, la fuerza de vacío insuficiente, debido a una mala capacidad de la bomba, a fugas de vacío; así como una inadecuada evacuación de aire, dan como resultado un espesor de pared no uniforme en la parte final. Por lo que se recomienda una evacuación intensa en las esquinas y zonas profundas para asegurar que la lámina se adapte a su contorno.

2.8.4. AIRE.

El aire usado para preestirar o formar debe ser guardado en un controlador de temperatura para asegurar una máxima uniformidad en la pieza. En general, para evitar que la pieza se enfríe, el aire debe mantenerse a una temperatura aproximadamente del 10% más baja que la temperatura de la lámina.

CAPÍTULO 3

MOLDES

3.1.0. TIPOS DE MOLDES.

El diseño del molde a utilizar, depende de las características del producto deseado, forma, material a utilizar, capacidad a producir, detalles, etc. Las bases para el diseño de un molde son:

1. La pieza por molde.
2. Cantidad de piezas para producir en tiempo determinado.
3. Selección del sistema de moldeo.
4. Tipo de molde y número de cavidades.
5. Selección de la máquina adecuada.
6. Sistemas de alimentación del material.
7. Sistemas de expulsión de las piezas moldeadas.
8. Sistemas de enfriamiento del molde (termoplásticos)
9. Sistemas de calentamiento del molde (termofijos)
10. Selección de los materiales para fabricación de moldes.
11. Sistemas de seguridad y protección de los moldes.

Dependiendo de los requerimientos del producto y la localización de los detalles finos se determina el tipo de molde a utilizar, que pueden ser:

- *Moldes machos*: Se conocen también como moldes positivos y se caracterizan por tener una forma convexa. Se emplean para la reproducción de detalles finos en el interior de la pieza formada.
- *Moldes hembras*: Llamados también moldes negativos, tienen una cavidad cóncava. Son adecuados para la reproducción de detalles finos en la parte exterior del artículo termoformado.

3.1.1. MOLDE MACHO.

Se usa en el proceso de termoformado, donde la lámina caliente recubre la forma convexa y se usa presión negativa o positiva para forzar al plástico contra la superficie del molde.

Si la lámina recubre un molde macho, entonces la superficie interior será idéntica a la del molde convexo y la superficie exterior la seguirá aproximadamente. Otra característica de la pieza que se termoforme será, que, al colocar la lámina sobre la forma convexa la porción que hace contacto con la superficie superior solidifica rápidamente y no experimenta prácticamente ningún estiramiento. Esto da como resultado una base gruesa, pero un adelgazamiento significativo en las paredes del material. La desventaja de usar este tipo de molde, es que se generan más desechos (se desperdicia mucho material al termoformar)

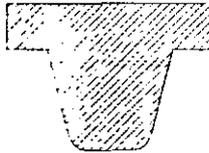


Figura 3.1.1. Molde Macho

3.1.2. MOLDE HEMBRA.

Al termoformar artículos en un molde hembra, la parte es embutida dentro del molde, entonces, la superficie exterior tendrá el contorno exacto de la cavidad del molde. La superficie interna poseerá una aproximación del contorno y un acabado correspondiente al de la lámina inicial.

Una característica muy importante en las piezas a termoformar es el adelgazamiento de la lámina de plástico, el cual constituye un problema de termoformado que debe tomarse en cuenta. Un molde hembra producirá una distribución pareja del estiramiento y adelgazamiento de la lámina, antes de que ésta entre en contacto con la superficie final del molde. Esta técnica es aconsejable en piezas de poca profundidad, ya que el adelgazamiento en piezas profundas puede ser excesivo.

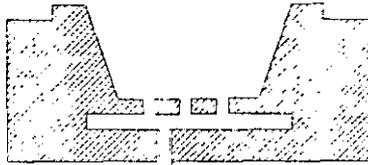


Figura 3.1.2. Molde Hembra

3.1.3. COMPARACIÓN ENTRE UN MOLDE MACHO Y UN MOLDE HEMBRA.

El molde a utilizar en el proceso de termoformado depende del tamaño, largo, ancho, profundidad, peso, forma, detalles finos en la superficie y uniformidad del artículo deseado. En la mayoría de los casos el moldeo puede ser exitoso, ya sea utilizando un molde macho o un molde hembra; entonces la elección deberá ser hecha basándose en una evaluación y estimación del beneficio potencial de cada ruta. En la tabla 3.1.3. se muestran los puntos clave que deben ser considerados.

Tabla 3.1.3. Comparación Entre Un Molde Macho Y Un Molde Hembra.

AREA DE COMPARACIÓN	MOLDE MACHO	MOLDE HEMBRA
I. PROFUNDIDAD DE LA PIEZA	1. Es el más adecuado para formar piezas profundas	1. No deberá emplearse para piezas que requieran una profundidad mayor de la mitad del ancho de la pieza
II. DESMOLDEO DE LA PIEZA	1. Las piezas se pueden pegar si la temperatura del molde está por debajo de 79.4°C (175°F)	1. Problemas no serios
III. APARIENCIA DE LA PIEZA	1. Poco brillo 2. No hay marcas de molde en la superficie interior de la pieza	1. Mejor brillo 2. Marcas de molde en la superficie interna de la pieza
IV. DISTRIBUCION DEL MATERIAL	1. Las esquinas pueden ser de mayor espesor	1. Distribución pareja del adelgazamiento y estiramiento de la lámina
V. COSTOS	1. El costo del herramental es mayor que el del molde hembra	1. Menos caro que el molde macho

3.2.0. MATERIALES DEL MOLDE

A diferencia de los procesos de soplado e inyección, el termoformado puede utilizar diversos materiales en función del volumen de producción requerido. Con la ventaja de que en el termoformado, los moldes están expuestos a presiones bajas, que comúnmente no rebasan el 5% de la presión que requeriría un molde de inyección de tamaño similar, los materiales para la fabricación de estos van desde la madera y pastas hasta aluminio y aceros de alta resistencia. La elección de los materiales utilizados en la construcción de moldes para termoformado depende de la calidad y cantidad de artículos que se vayan a producir en dicho molde.

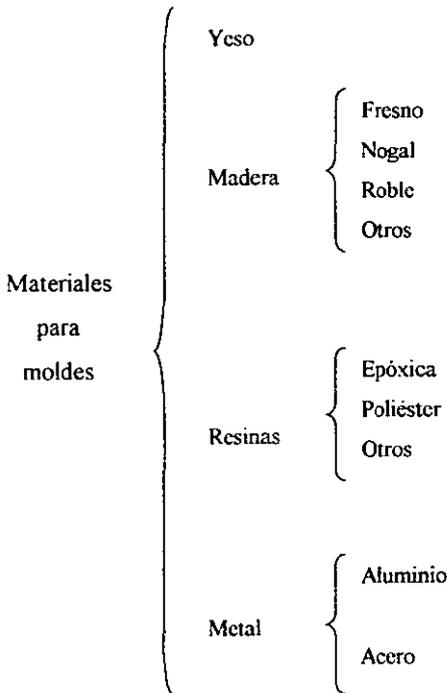


Figura 3.2.0. Materiales Utilizados Para Moldes De Termoformado

3.2.1. MOLDES DE YESO

Son factibles utilizarlos para efectos de pruebas o series cortas de producción. El utilizar yeso nos da las siguientes ventajas:

- Bajo costo del molde, por lo que se consume en volúmenes altos
- Facilidad de fabricación del molde
- Rapidez de endurecimiento a temperatura ambiente

Para mejorar el acabado de la superficie y aumentar la resistencia al desgaste, se recomienda recubrir el molde con resina epóxica y después pulirlo.

3.2.2. MOLDES DE MADERA

Se utilizan para la fabricación de prototipos o producciones cortas. Deben ser maderas duras no resinosas, que generalmente reciben tratamientos de secado en un horno antes del maquinado para evitar deformaciones durante la fabricación. Una gran desventaja es que no resisten grandes esfuerzos a la flexión. Dependiendo de la complejidad del molde, en algunas ocasiones se requiere hacer ensambles, usándose adhesivos como el resorcinol o epóxicos.

3.2.3. MOLDES DE RESINA

Para productos en los que la temperatura superficial del molde no sea mayor a 60°C, es factible el uso de resinas termofijas epoxi o poliéster insaturado, empleando como refuerzo fibra de vidrio. Es necesario una cuidadosa construcción del molde, ya que pequeñas burbujas bajo la superficie pueden generar depresiones y perforaciones durante el proceso. Estos materiales se caracterizan por su buena estabilidad dimensional, dureza, tenacidad y su buena resistencia a la abrasión, además de que pueden tener superficies altamente pulidas. El problema con estos materiales es que son malos conductores de calor, por lo que para obtener ciclos rápidos de producción es necesario recurrir a enfriamientos con aire comprimido directamente sobre el molde.

3.2.4. MOLDES METÁLICOS

3.2.4.1. ALUMINIO

Para grandes producciones, los moldes metálicos son muy utilizados, principalmente por su resistencia térmica y mecánica superiores a las de la madera y las resinas, así como por su excelente conductividad térmica. Debido a que el aluminio presenta un coeficiente de expansión térmica mayor que el acero, se debe tener cuidado al reemplazar moldes de estos materiales para evitar deformaciones.

3.2.4.2. ACERO

Debido a que los talleres metal – mecánicos comúnmente utilizan aceros de altas especificaciones para construir, por ejemplo, moldes de inyección, también estos materiales se utilizan para fabricar los moldes de termoformado a pesar de que los requerimientos de presión, temperatura y desgaste son mucho menores.

3.3.0. VARIABLES DEL MOLDE

La formación final y el enfriamiento en la pieza dependen del molde, ya sea macho o hembra. Algunas variables del molde incluyen:

3.3.1. HUECOS DE VACÍO.

Estos deben ser lo más pequeño posible, de esta manera no se van a marcar en la parte final del artículo. El diámetro de las perforaciones varía de acuerdo a la pieza que se termoforme. El espaciamiento es opcional y puede ser determinado por criterio, dependiendo de: el detalle de la pieza, espesor de la lámina y calor de retención. Las ranuras son mejores que los hoyos, pero son más caros.

En la construcción del molde, el vacío es arrastrado a través de agujeros o hendiduras en la superficie del molde. Al formar materiales delgados como las poliolefinas, el diámetro del agujero debe ser pequeño (0.021 a 0.0135 pulgadas) Los materiales de alta resistencia al calor y los materiales más espesos como los copolímeros de vinilo y estireno, pueden permitir que los agujeros de vacío sean más grandes (0.035 a 0.020 pulgadas) Las láminas de calibre de 0.5 pulgadas o más, en ABS o acrílicas pueden ser formadas con huecos de 0.060 o con ranuras estrechas para una rápida aplicación de vacío. Cuando se necesita un detalle fino, los agujeros de vacío deben espaciarse aproximadamente con $\frac{1}{4}$ de pulgada o usar moldes porosos de aluminio. En las superficies grandes y lisas, de 1 a 3 pulgadas de espaciamiento es práctico.

3.3.2. VELOCIDAD DE EVACUACIÓN.

En general, la velocidad de evacuación debe ser rápida. Es deseable una evacuación intensa en las esquinas y zonas profundas para conseguir un espesor uniforme de pared, asegurar que la lámina se adapte a su contorno y mejorar el flujo del material en la dirección deseada

3.3.3. GRADO DE ESTIRADO.

El grado de estirado es la relación que existe entre el promedio del espesor de la lámina y el promedio del espesor de la pieza. Se caracteriza por la relación $H : W$ (Altura: Ancho) Para conseguir un espesor uniforme de la pieza termoformada se debe tener control sobre el grado de estirado que puede dar la lámina.

3.3.4. TEMPERATURA DEL MOLDE

La temperatura del molde puede afectar la formación de la pieza y el tamaño final. Por lo que se recomienda instalar un sistema de control de temperatura en los moldes para mejorar los ciclos de producción y mantener lo más estable posible las condiciones de operación. Estas unidades de control constan de un depósito de agua calentada eléctricamente, controlado por un termostato y una bomba de circulación de agua. En el molde se insertan unos serpentines por donde se hará circular el agua a la temperatura deseada.

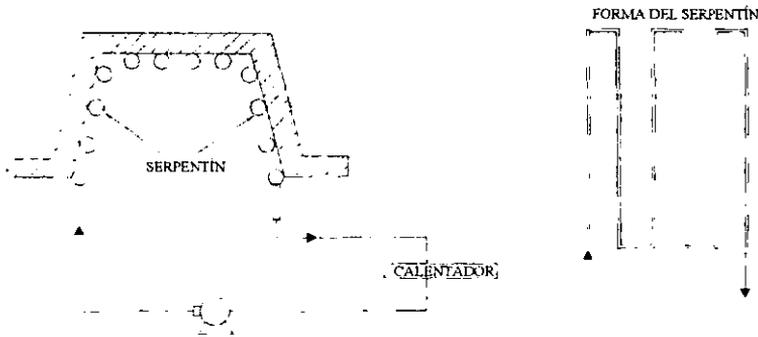


Figura 3.3.4. Sistemas De Control De Temperatura Del Molde

3.3.5. SUPERFICIE DEL MOLDE

El molde debe presentar un buen acabado y pulido, ya que existen láminas termoplásticas, tales como el polietileno de baja densidad, donde un alto pulido de la superficie del molde va a atrapar el aire y va a interferir con la velocidad de evacuación.

3.3.6. REFUERZOS

En algunos diseños es deseable reforzar las unidades formadas en algunas partes, principalmente los bordes y las áreas delgadas o más débiles para evitar concentraciones excesivas de esfuerzos mecánicos. Existen diversos tipos de refuerzos, los cuales se colocan antes del termoformado, ya sea colocando insertos permanentes o resaltes que pueden quitarse después del termoformado.

3.3.6.1. INSERTOS

Son varillas metálicas o cintas que se colocan en el molde. La sección metálica se vuelve una parte integral en el molde termoformando la lámina alrededor de ella. Estos se usan frecuentemente en piezas grandes y se llaman “insertos huérfanos”.

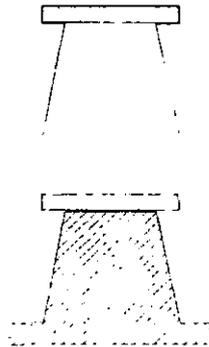


Figura 3.3.6.1. Insertos Permanentes

3.3.6.2. RESALTES

Pueden ser dispuestos para aumentar la rigidez del articulo en las partes delgadas o más débiles, así como también en las áreas de gran tamaño. Con una apropiada colocación, anillos o candados pueden ser usados, para un amplio rango de aplicaciones que requieren rigidez, así esto nos lleva a reducciones en los ciclos de calentamiento, siempre y cuando estos puedan ser retirados o ser movibles para que permitan la salida de la pieza.

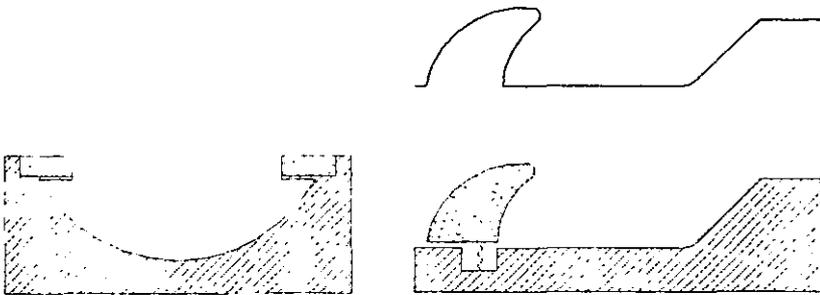


Figura 3.3.6.2. Resaltes Movibles

CAPÍTULO 4

MÁQUINAS

4.1.0. CARACTERÍSTICAS DE LAS MÁQUINAS.

Las características que debe cumplir cualquier máquina de termoformado son:

1. *Medio de sujeción:* La máquina debe contar con un bastidor para sujetar la lámina, generalmente, se acciona neumáticamente.
2. *Método de calentamiento de la lámina:* Puede ser un elemento de radiación, convección o conducción.
3. *Dispositivo manual o mecánico para bajar el molde dentro de la lámina de plástico.*
4. *Sistema de vacío o sistema de aire a presión.*
5. *Sistema de enfriamiento.*
6. *Controles de operación:* Los principales factores que influyen en el proceso de termoformación son: presión, temperatura, velocidad y tiempo.
7. *Dispositivo de seguridad:* Son de dos tipos principalmente:
 - 7.a. *Eléctrico.* Se interrumpe el flujo de energía.
 - 7.b. *Hidráulico.* Impide el paso del aceite de lubricación.

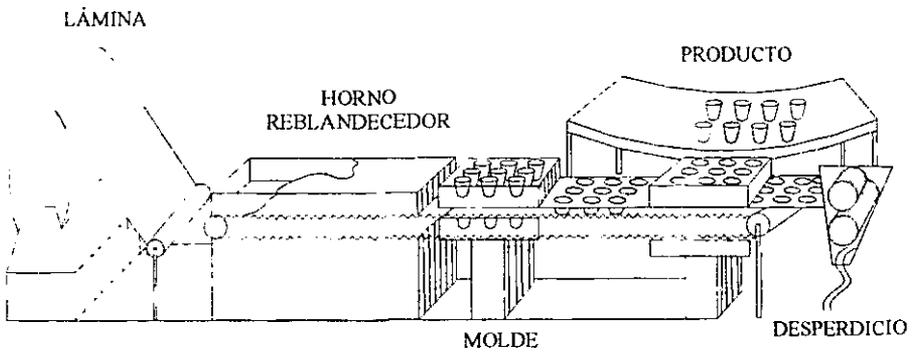


Figura 4.1.0. Características De Las Máquinas De Termoformado

4.2.0. TIPOS DE MÁQUINAS.

Existen los siguientes tipos de acuerdo al producto que se desea obtener:

- Máquinas manuales.
- Máquinas semiautomáticas.
- Máquinas automáticas.

4.2.1. MÁQUINAS MANUALES.

En esta clase de máquinas todas las operaciones para el proceso de transformación de lámina, se regulan manualmente. Consiste en un sujetador, un calentador y una bomba de vacío con su tanque de almacenamiento.

El equipo auxiliar comprende un panel de control de temperaturas para el elemento de calentamiento, un sistema mecánico para ajustar la distancia entre el calentador y la lámina y un manómetro de vacío.

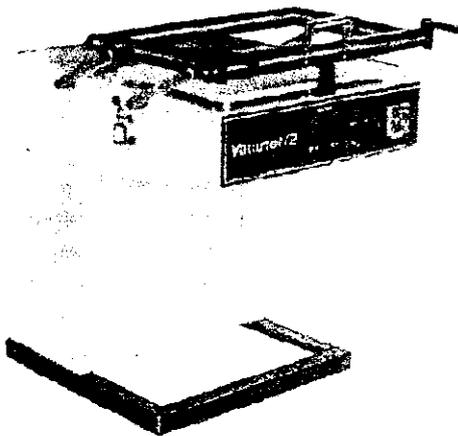


Figura 4.2.1. Máquina Manual

4.2.2. MÁQUINAS SEMIAUTOMÁTICAS.

La operación de sujeción y retirado de la lámina se realiza manualmente, las demás operaciones son automáticas.

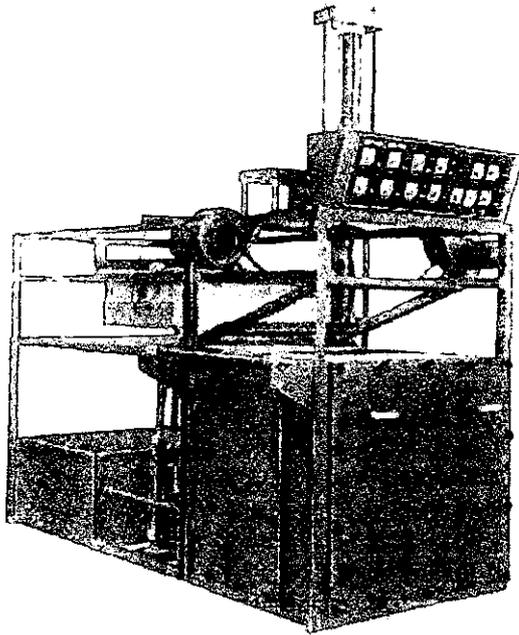


Figura 4.2.2. Máquina Semiautomática

El sistema auxiliar consiste en un pirómetro para el calentado y válvulas solenoides con controles de tiempo para regular la duración del ciclo total del calentamiento y enfriamiento; así como un sistema mecánico, eléctrico e hidráulico. Se clasifican en:

- Máquinas de una estación
- Máquinas de dos estaciones.
- Máquinas rotativas.

4.2.2.1. MÁQUINAS DE UNA ESTACIÓN.

En este caso, la lámina permanece estática en su posición desde el calentamiento hasta su desmoldeo. Su ciclo de producción es largo. Esto quiere decir, que la lámina se sujeta mediante un bastidor y bajo el armazón de la máquina, se realizan las etapas de calentamiento, formado y enfriamiento, para enseguida extraerla y cortarle los bordes inútiles a la pieza.

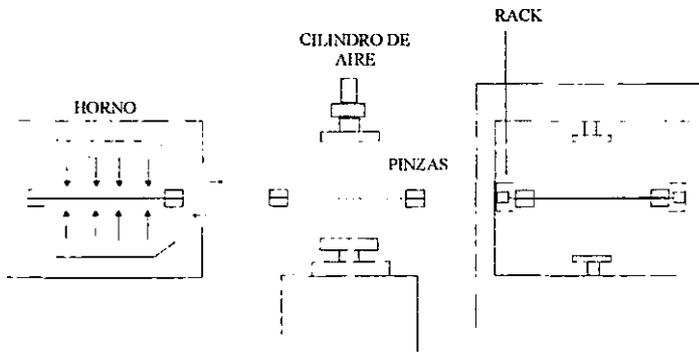


Figura 4.2.2.1. Máquina De Una Estación.

4.2.2.2. MÁQUINAS DE DOS ESTACIONES.

Este equipo es una variante del caso anterior, en él sólo se utilizan dos estaciones de trabajo y un horno. Presenta dos bastidores y mientras uno entra al horno para reblandecer la lámina, el otro sale para formar la que fue previamente calentada. Después de extraerla del molde, se coloca otra lámina para que continúe el proceso. El equipo se utiliza cuando las piezas son muy grandes y requieren de mayor tiempo de calentamiento. Un esquema simple de la máquina de dos estaciones se muestra en la figura 4.2.2.2.

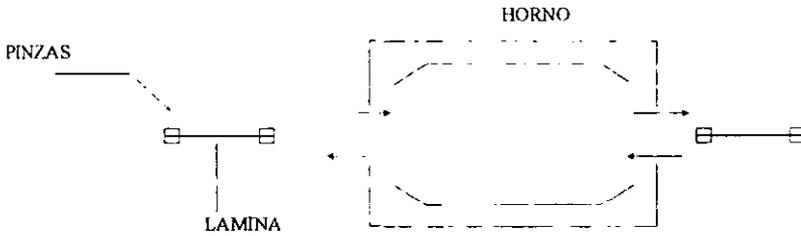


Figura 4.2.2.2. Máquina De Dos Estaciones.

4.2.2.3. MÁQUINAS ROTATIVAS.

En este caso, se tienen tres bastidores montados sobre un carrusel, cada uno de ellos pasa por las estaciones de calentamiento, formado y posicionamiento de la lámina, por lo que en todo momento se produce una pieza terminada. Este proceso es útil para piezas grandes donde se requiere mayor producción. Se utiliza comúnmente en la fabricación de interiores de puertas de refrigerador.

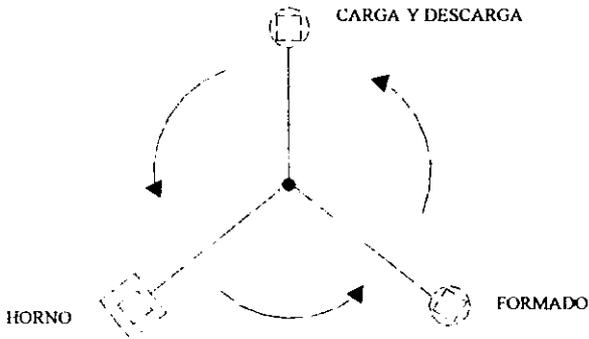


Figura 4.2.2.3. Máquina Rotativa.

4.2.3. MÁQUINAS AUTOMÁTICAS.

Todas las operaciones son sincronizadas y automáticas en este tipo de máquinas.

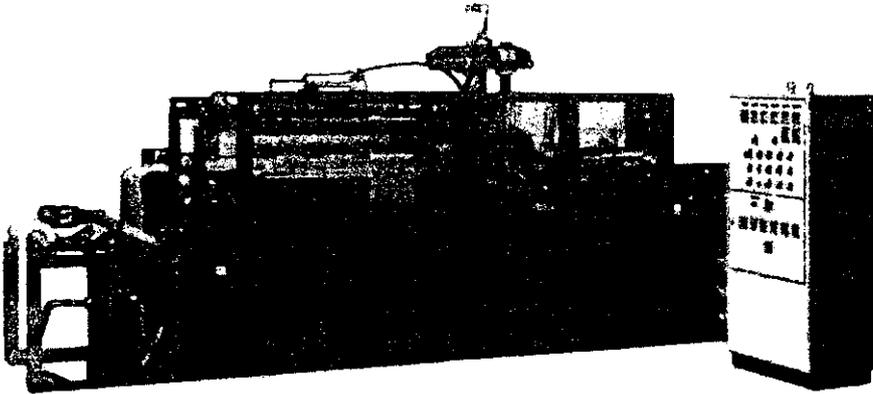


Figura 4.2.3. Máquina Automática

Están diseñadas para utilizar láminas de espesores no mayores de 0.6 mm, en rollo o láminas previamente cortadas. Se utilizan en la producción de artículos en gran escala y pequeños envases. Se clasifican en:

- Máquinas de termoformado en línea intermitente.
- Máquinas de termoformado en línea continua

4.2.3.1. MÁQUINAS DE TERMOFORMADO EN LÍNEA INTERMITENTE.

En este equipo la lámina se alimenta en rollo y después de que se reblandece, es formada en el molde, posteriormente sigue su recorrido para sincronizarse con el corte de la rebaba y se obtiene el producto final. Se emplea para fabricar piezas de espesores delgados como: vasos, platos y tazas desechables o contenedores de alimentos.

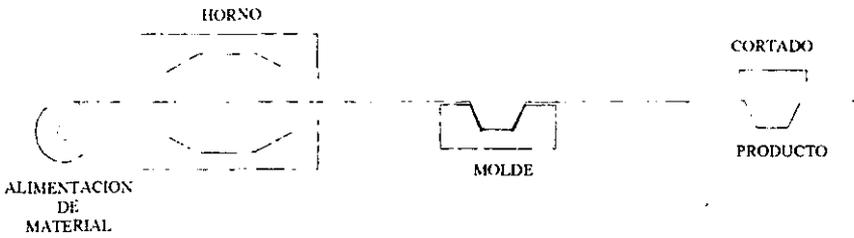


Figura 4.2.3.1. Máquina En Línea Intermitente.

4.2.3.2. MÁQUINAS DE TERMOFORMADO EN LÍNEA CONTINUA.

Es parecido al caso anterior, con la diferencia de que el molde se coloca en un tambor que gira a gran velocidad constante para formar de manera continua la lámina. Cuenta con la posibilidad de que mientras se enfría la pieza formada, camina para lograr alimentar continuamente la lámina formada. Generalmente, este tipo de máquinas se conectan en línea con una sección de llenado y sellado, para realizar simultáneamente el formado/llenado/sellado de empaques para alimentos o fármacos.

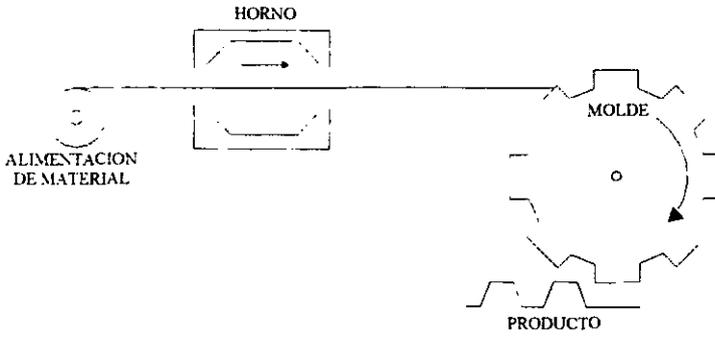


Figura 4.2.3.2. (a) Máquina En Línea Continua.

Algunos equipos en lugar de poseer un tambor, presentan un carro reciprocante que en el momento del termoformado, jala la lámina hacia adelante y cuando ésta se libera, el carro retrocede para termoformar otra sección de ella.

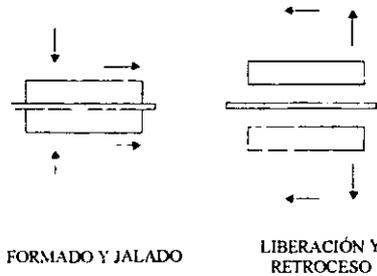


Figura 4.2.3.2. (b) Máquina En Línea Continua De Plataforma Reciprocante.

CAPÍTULO 5

MATERIALES

5.1.0. LÁMINAS TERMOPLÁSTICAS

Los materiales plásticos se clasifican de acuerdo a:

1. Su consumo:

- Commodities
- Versátiles
- Técnicos
- Especialidades

Comodities

- Se consumen en volúmenes altos
- Fácil integración en su proceso
- Se puede usar el producto de diversos proveedores
- Mínimo requerimiento de asistencia técnica
- Procedimientos y equipo relativamente simple
- Márgenes bajos de ganancias
- Precios de acuerdo a costos
- Competencia por precio

Incluyen a: polietilenos (PE), cloruro de polivinilo (PVC), polipropileno (PP) y poliestirenos (PS)

Versátiles

- Se consumen en volúmenes altos
- Poca tecnología en producción y transformación
- Creatividad y diseño, base de su desarrollo
- No existe suficiente difusión de aplicaciones
- Satisfacen mercados definidos
- Precios de acuerdo a su funcionalidad

Incluye a: poliuretano, fenólicas, resinas y epóxicas.

Técnicos

- Se consumen en bajos volúmenes
- Márgenes altos de ganancia
- Procesamiento y equipo especializado
- Satisfacen mercado automotriz y eléctrico-electrónico principalmente
- Se venden con asistencia técnica
- Sustitución de partes mecánicas

Incluye a: polietileno tereftalato (PET), policarbonato, acetales, poliamidas, polibuteno tereftalato (PBT), acrilonitrilo – butadieno – estireno (ABS).

Especialidades

- Elevado precio
- Ocupan el menor porcentaje en el consumo global de plásticos

Los polímeros denominados como “Especialidades”, normalmente son asociados con una o más propiedades sobresalientes, por ejemplo, bajo índice de fricción y elevada resistencia dieléctrica.

Incluye a. polióxido de fenileno (PPO), polisulfuro de fenileno (PPS), politetrafluoretileno (PTFE)

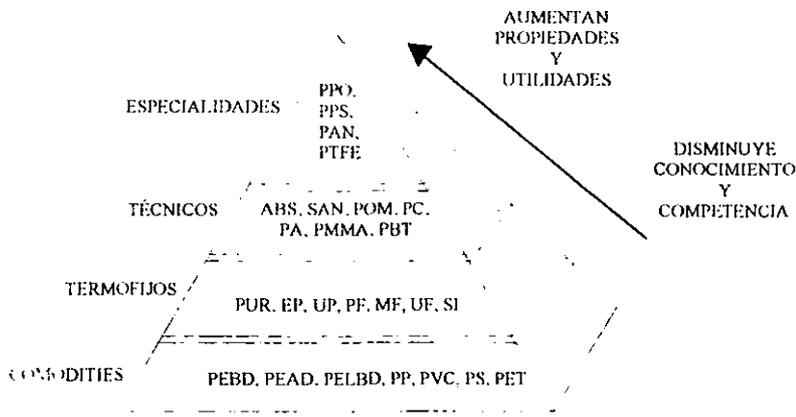


Figura 5.1.0. Clasificación Por Consumo De Plásticos

2. Su Estructura Química

- Comportamiento al calor
- Morfología
- Presencia de monómeros
- Tacticidad

La estructura química define cuatro clasificaciones, de acuerdo al comportamiento o acomodo de la estructura del material y de estas clasificaciones, la más importante es la del comportamiento al calor que nos separa a todos los polímeros en dos grandes grupos: termoplásticos y termofijos.

Los materiales termoplásticos, son aquellos que se reblandecen o funden por la acción del calor para formar un artículo. Pero si se les vuelve a aplicar calor tienen la posibilidad de fundirse nuevamente y moldear un producto igual o diferente; a diferencia de los termofijos, los cuales una vez que han sido transformados en una pieza por calor o presión, al aplicarles nuevamente calor se degradan o carbonizan eliminando toda posibilidad de ser reprocesados.

En las siguientes tablas se puede observar la nomenclatura y aplicaciones de estos dos grupos.

Tabla 5.1.0.(a) Materiales Termoplásticos

NOMBRE QUÍMICO	NOMENCLATURA	APLICACIÓN
POLIOLEFINAS		
<i>Poliétileno</i>	PE	Películas, artículos para el hogar, empaque y envases, recubrimientos.
<i>Polipropileno</i>	PP	Películas, rafia, fibras textiles.
POLÍMEROS Y COPOLÍMEROS DE ESTIRENO		
<i>Poliestireno</i>	PS	Empaque y envase, juguetes, artículos para el hogar, industria mueblera.
<i>Acilonitrilo-butadieno-estireno</i>	ABS	Piezas automotrices cromadas
<i>Estireno-acilonitrilo</i>	SAN	Carcasas de electrodomésticos
POLÍMEROS HALOGENADOS		
<i>Cloruro de polivinilo</i>	PVC	Tubería, botellas, película flexible y rígida, losetas.
<i>Cloruro de polivinideno</i>	PVDC	Película para empaque
<i>Politetrafluoroetileno</i>	PTFE	Recubrimientos de sartenes

NOMBRE QUIMICO	NOMENCLATURA	APLICACION
<i>Fluoruro de polivideno</i>	PVF	Diafragmas
POLIACRILATOS		
<i>Polimetilmetacrilato</i>	PMMA	Anuncios luminosos, tinas para baño, canceleria
POLIÉSTERES		
<i>Policarbonato</i>	PC	Cascos de seguridad, parabrisas de motocicletas, anuncios luminosos.
<i>Polibutilentereftalato</i>	PBT	Carcasas de aparatos eléctricos, partes automotrices.
<i>Poliétilentereftalato</i>	PET	Botellas para bebidas carbonatadas, películas.
POLIAMIDAS		
<i>Nylon 6</i>	PA-6	Engranés
<i>Nylon 6 6</i>	PA-6/6	Suelas para zapatos de fútbol
<i>Nylon 6 10</i>	PA-6/10	Engranés
<i>Nylon 11</i>	PA-11	Tanques para gasolina
<i>Nylon 12</i>	PA-12	Aislamiento de cables

NOMBRE QUIMICO	NOMENCLATURA	APLICACIÓN
POLIOXIDOS		
<i>Polióxido de fenileno</i>	PPO	Carcasas para computadoras
<i>Polióxido de metileno</i>	POM	Maquinaria industrial, mecanismos automotrices
POLISULFONAS		
<i>Poliéster sulfona</i>	PES	Carcasas de bombas
<i>Polifenilen sulfona</i>	PPS	Conectores eléctricos automotrices.

Tabla 5.1.0. (b) Materiales Termofijos

NOMBRE QUÍMICO	NOMENCLATURA	APLICACIÓN
FENOPLÁSTICOS		
<i>Resina fenólica</i>	PF	Accesorios eléctricos, planchas.
<i>Cresol formaldehido</i>	CF	Accesorios eléctricos, planchas.
AMINOPLÁSTICOS		
<i>Urea formaldehido</i>	UF	Partes eléctricas, vajillas.
<i>Melamina formaldehido</i>	MF	Madera aglomerada
<i>Poliéster insaturado</i>	UP	Lanchas, encapsulados.
<i>Resinas epoxi</i>	EP	Recubrimientos anticorrosivos
<i>Poliuretanos</i>	PUR	Colchones, asientos y volantes de automóviles.

Los termoplásticos que se usan ampliamente en la transformación son: acrilonitrilo-butadieno.-estireno (ABS), el acrílico (PMMA), las poliolefinas, el poliestireno (PS), el cloruro de polivinilo (PVC), el polietilen tereftalato (PET) y el policarbonato (PC)

Las láminas en la industria del termoformado, las podemos clasificar en seis grandes grupos:

- Láminas de estireno
- Láminas de celulosa
- Láminas acrílicas
- Láminas vinílicas
- Láminas de poliolefinas
- Láminas de poliésteres

5.1.1. LÁMINAS DE ESTIRENO

Los polímeros de estireno en forma de película o lámina se pueden termoformar gracias a las propiedades de elongación y alta resistencia a la tensión que muestran cuando se calientan. Estos materiales son los más utilizados en la actualidad en el proceso de termoformado. Incluye a: láminas de poliestireno grado impacto, copolímero en bloques S/B, poliestireno cristal, SAN, ABS y poliestireno expansible.

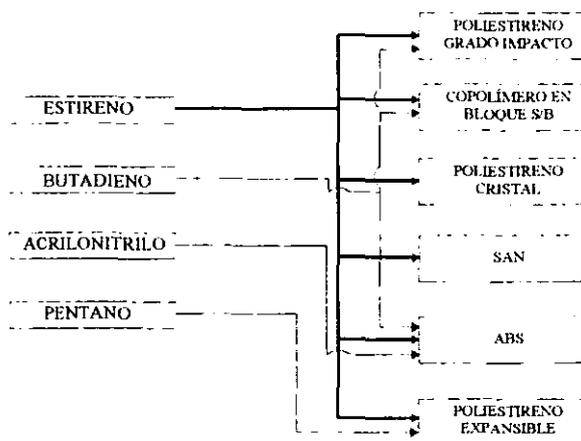


Figura 5.1.1. Producción De Los Polímeros De Estireno

Las temperaturas que se manejan en la transformación de láminas de poliestireno son:

Tabla 5.1.1. Temperaturas Del Molde (°C)

MATERIAL	TEMP. MIN. PROCESO	TEMP. MAX. PROCESO	TEMP. DE FORMADO
PS	127	182	82
S/ B/S	121	149	135

5.1.1.1. LÁMINAS DE POLIESTIRENO CRISTAL (PS)

Es el producto de la polimerización del estireno. Su transparencia y rigidez son sus principales características, se consume en volúmenes altos, debido a su fácil adquisición, se puede obtener el producto de diversos proveedores. En México se inauguró en 1997 una planta de BASF y además es producido por RESIRENE, POLIDESA, Grupo polimeros y otras cinco empresas. Se considera como uno de los plásticos de mayor transparencia y brillo superficial. Sin embargo, también presenta alta rigidez y fragilidad. No resiste alcoholes, ácidos, bases diluidas y grasas.

Existen varios grados de impacto de acuerdo a los requerimientos del proceso de transformación al que se sometan; incluso estos grados aparecen como especialidades. Su baja resistencia al impacto; lo hacen más difícil de termoformar, que los copolímeros y termpolímeros de estireno. Sus aplicaciones se dirigen a campos donde no se requiera de estabilidad a la intemperie, ya que la luz ultravioleta causa amarillamiento y pérdida de propiedades mecánicas. Se utiliza en la fabricación de envases para productos alimenticios, farmacéuticos y cosméticos: como blisters, vasos y tapas.

5.1.1.2. LÁMINAS DE POLIESTIRENO EXPANSIBLE. (EPS)

El poliestireno expansible, contiene pentano como agente neumatógeno o expansor. La concentración de éste varía de 3 a 7%, es decir, 7 kg por cada 100 kg de estireno. Es un material resistente a temperaturas bajo cero, pero a temperaturas elevadas aproximadamente a 88° C pierde sus propiedades. Debido a ello, y a su bajo coeficiente de conductividad térmica, se utiliza como aislante a bajas temperaturas. Posee poder de amortiguamiento, es decir, permite absorber la energía producida por golpes y vibraciones. El EPS es uno de los termoplásticos más versátiles. Se emplea en empaque y envase como medio de protección y presentación.

Con el EPS es posible proteger desde una delicada porcelana hasta una pesada caja fuerte. Algunas de las industrias que emplean el empaque de EPS son: la automotriz, farmacéutica, cosméticos, cristales, maquinaria, electrónica, vinos y licores, y todas aquellas que empaacan sus productos para protegerlos contra golpes durante su manejo, obteniendo una reducción considerable en los costos de mano de obra o fletes. Por otra parte, con el EPS se pueden envasar y proteger bebidas frías, calientes, helados y una gran variedad de alimentos.

El incremento de envases termoformados con EPS en la industria y uso doméstico, es prueba de su gran utilidad. También se fabrican capas para frutas, pescados y mariscos, que proporcionan ventajas sobre empaques tradicionales de madera y cartón porque pesan hasta un 60% menos, no generan la creación de moho u hongos, no absorben agua, no pierden su forma y favorecen su transporte.

5.1.1.3. LÁMINAS DE POLIESTIRENO GRADO IMPACTO (PS-I)

Es un poliestireno modificado con un elastómero, generalmente butadieno. Este se puede obtener por reacción o por una mezcla de polimeros compuestos por poliestireno y polibutadieno. Su resistencia al impacto se basa en el contenido de polibutadieno presente en el compuesto, existiendo básicamente de dos tipos.

Tabla 5.1.1.1. Poliestireno Grado Impacto

	% ESTIRENO	% POLIBUTADIENO
MEDIO IMPACTO	96.5 - 95.5	3.5 - 4.5
ALTO IMPACTO	92.5 - 91.0	7.5 - 9.0

El polibutadieno es un elastómero opaco que al combinarse con el poliestireno hace que éste pierda su transparencia. Los diferentes grados que existen de estos materiales (medio y alto impacto), son más estables térmicamente, poseen una resistencia al impacto entre dos y cuatro veces superior al PS cristal, según el contenido y tipo de elastómero. Resisten con limitaciones ácidos y álcalis, no resisten disolventes orgánicos como bencina, cetonas, hidrocarburos aromáticos y clorados.

- Aplicaciones del poliestireno de medio impacto.

Es un material con el que se elaboran piezas rígidas que requieren brillo e impacto, se utiliza con éxito en la industria del envase y empaque para elaborar platos y vasos desechables, recipientes para yogurt, mantequilla, helados, etc.

- Aplicaciones del poliestireno de alto impacto.

Sus propiedades mecánicas y de flujo, permiten el termoformado en partes que están expuestas a un uso severo como: cubiertas y partes para radio y televisión, muebles, marcos. También se emplea en envases y empaques con espesores menores a los convencionales. Existen grados especiales que se utilizan donde se requiere mayor resistencia en el producto final y que presentan un balance ideal de propiedades como flujo; impacto y resistencia a la temperatura. Algunos ejemplos son: contraportas de refrigeradores y partes automotrices.

5.1.1.4. LÁMINAS DE COPOLÍMERO DE ESTIRENO-BUTADIENO-ESTIRENO (S/B/S)

Presenta un contenido mayor de butadieno que el poliestireno grado impacto. La característica más sobresaliente de los copolímeros estireno-butadieno-estireno, es la combinación de transparencia, brillantez y resistencia al impacto. Su resistencia química es semejante a la que presenta cualquier poliestireno, no resiste alcoholes, cetonas, ésteres, aromáticos, ácidos, bases diluidas, grasas. Es termoformada para aplicarla principalmente en empaques como: confitería y verdura fresca. Otras aplicaciones son vasos y platos desechables, charolas y juguetes.

5.1.1.5. LÁMINAS DE COPOLÍMERO DE ESTIRENO-ACRILONITRILLO (SAN)

Básicamente es un poliestireno modificado con acrilonitrilo que presenta mejor resistencia mecánica y química. Es un plástico transparente, con alto brillo superficial. Debido a la presencia de acrilonitrilo en su formulación, tiene un ligero amarillamiento que para ocultarlo se puede pigmentar en transparente y opaco. Es rígido y presenta mayor resistencia al impacto que el PS-I, además de ser el plástico con el más grande módulo de elasticidad de todos los polímeros de estireno. Tiene buena resistencia dieléctrica, así como tolerancia a cambios de temperatura y transmite un 90% de luz. Tiene buena resistencia química a los hidrocarburos, aceites, grasas, ácido clorhídrico, formaldehído, hidróxido de amonio, sales de halógenos y no debe exponerse a ácidos minerales concentrados. Tiene aplicación en envases y vasos desechables.

5.1.1.6. LÁMINAS DE ACRILONITRILLO-BUTADIENO-ESTIRENO (ABS)

Es el plástico de mayor consumo dentro de la clasificación de plásticos técnicos, siendo producido por G. E. PLASTICS y BASF. Se produce de una mezcla del copolímero del estireno-acrilonitrilo (SAN) con el polibutadieno; presenta buena resistencia química, resistencia al calor (acrilonitrilo), resistencia al impacto, dureza y retención a bajas temperaturas (butadieno), brillantez, procesabilidad y rigidez (estireno). Su estabilidad al calor es en rangos de uso de -45° a 85° C y en algunos tipos especiales hasta 100° C. Su temperatura de formado oscila entre $150 - 178^{\circ}$ C. El ABS se ha mantenido en mercados claves como el Automotriz para partes decorativas en interiores de automóviles y en exteriores para parrillas termoformadas, en piezas de carrocerías, tableros, consolas centrales y carcazas de calaveras. Tiene algunas aplicaciones en el sector del envase como vasos termoformados. Su resistencia al impacto y condiciones adversas en presencia de leche, grasas y aceites permiten usarlo en la industria de refrigeración. También se utiliza en botes y maletas.

5.1.2. LÁMINAS DE CELULOSA.

Incluye a las láminas de acetato de celulosa, butirato de celulosa, acetato butirato de celulosa, propionato de celulosa y acetato de propionato de celulosa. Siendo de la misma familia, poseen características similares como son: resistencia al impacto y dureza, buenas propiedades eléctricas y resistencia química, buena tenacidad, alta brillantez. Sin embargo, sus propiedades físicas y su grado de procesabilidad son diferentes, por lo que sus usos son sumamente extensos.

Debido a su resistencia a la temperatura, estas láminas se pueden termoformar. Se recomienda instalar un sistema de control de temperatura en los moldes (el molde deberá estar a temperaturas en un orden de los 40 a 60° C) para mejorar los ciclos de producción, evitar el opacamiento de la pieza por enfriamiento y mantener lo más estable posible las condiciones de operación; ya que es muy fácil que se formen ampollas o burbujas a causa de la evaporación del plastificante.

Una de las aplicaciones más difundidas en termoformado de láminas de celulosa es el de recipientes de empaque y envases.

5.1.3. LÁMINAS ACRÍLICAS

Las láminas acrílicas poseen excelentes propiedades ópticas semejantes al vidrio, como es su excelente transparencia. Esta característica está soportada en su buena rigidez, aceptable resistencia al impacto, gran resistencia a la intemperie y buena resistencia química, excepto para solventes orgánicos. Cubiertas para baños de negocio, casetas para regadera, difusores para luz, anuncios luminosos y señales, muebles, cabinas de aviones y helicópteros, domos, tinas, ciertos juguetes, y muchos artículos similares de paredes de grosor uniforme, son producidos por termoformado de láminas acrílicas.

También los tragaluces y en sustitución de vidrio en áreas de seguridad; pueden manufacturarse con acrílico (por su transparencia y resistencia al impacto).

5.1.4. LÁMINAS VINÍLICAS

Incluyen: PVC y láminas de Copolímero de vinilo.

5.1.4.1. LÁMINAS DE CLORURO DE POLIVINILO (PVC)

Es el plástico que en México tiene la mayor capacidad instalada distribuida en tres empresas: Grupo PRIMEX, POLICYD, Grupo Polímeros de México.

Su desarrollo y grandeza es reconocido tanto para su estudio como su aplicación en los sectores: técnico y manufactura .Es muy versátil, por la gran variedad de procesos por los que se puede transformar

La lámina utilizada en termoformado, se obtiene por el proceso de extrusión; es fácil de termoformar por su excelente resistencia al impacto y aunque se oscurece con el transcurso del tiempo, sus propiedades se ven afectadas en muy bajo grado. Tiene buena resistencia química y presenta excelentes propiedades aislantes para sistemas eléctricos.

El rango de termoformado de este material es muy amplio. Puede variar según la formulación y espesores de la lámina, están siempre en el rango de 110 a 150° C. Sus usos más difundidos son en recipientes pequeños y empaques.

5.1.4.2. LÁMINAS DE COPOLÍMERO DE VINILO

Estas láminas se termoforman con mayor facilidad que las de PVC, poseen buena resistencia al impacto. Presentan buena rigidez, flexibilidad, transparencia y buena resistencia a grasas y aceites.

La limitante que presentan es que su temperatura de deformación por el calor es tan baja, que su uso es limitado, básicamente se utiliza en recipientes y envases.

5.1.5. LÁMINAS DE POLIOLEFINAS.

Estas láminas son generalmente comercializadas en la zona centro del país, son de fácil adquisición y se consumen en volúmenes altos. Incluye a las láminas de polietileno y láminas de polipropileno.

5.1.5.1. LÁMINAS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PEBD)

Es el plástico de mayor consumo en México y el mundo. En México es producido por PEMEX. Se puede encontrar en un amplio rango de índices de fluidez, aspecto que lo hace altamente transformable.

Su cristalinidad sólo llega a un 50 o 60% haciéndolo un material transparente en el caso de obtener una lámina translúcida en piezas sólidas. Tiene conductividad térmica baja, debido a su baja conductividad eléctrica se ha convertido en un aislante de primera, tanto en alta como en baja tensión.

Presenta buenas propiedades mecánicas, incluyendo flexibilidad y resistencia al impacto a bajas temperaturas. Su resistencia química lo hace útil para envasar solventes y productos químicos, ya que resiste solventes comunes hasta 60° C y arriba de 70° C sólo lo atacan los hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorados.

Tiene aplicación dentro del sector de envase y empaque destacando su utilización en envase industrial.

5.1.5.2. LÁMINAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD)

Presenta una mayor rigidez que el PEBD. La producción de este plástico en México está a cargo de PEMEX. Es un plástico permeable, presenta una cristalinidad de 70 a un 85% y a consecuencia de ello produce piezas opacas.

Su resistencia mecánica es mejor que la de un PEBD y su dureza es mayor, aunque también es fácilmente rayable. Posee buenas propiedades dieléctricas, presenta buena flexibilidad aún a bajas temperaturas y es de gran procesabilidad. Cuenta con un número variado de aplicaciones: en el sector de envase y empaque se utiliza en envases para jardinería, productos químicos, detergentes y limpiadores. En el sector automotriz se usa para recipientes para aceite. Otros usos son: bandejas, juguetes, tinas de baño para bebé y contenedores. El rango de temperaturas para el termoformado de polietilenos oscila entre los 120 - 135° C.

5.1.5.3. LÁMINAS DE POLIPROPILENO

El Polipropileno, es producido por PEMEX e INDELPRO en México. Es un plástico permeable, altamente cristalino que sólo alcanza transmisiones de luz del orden de 70 a 75%, por lo que generalmente con él se fabrican piezas translúcidas a opacas.

Su resistencia dieléctrica es muy elevada, lo que lo hace un excelente aislante de alambre y cable, aunque su desventaja es que es más rígido que el PE y el PVC. Posee una excelente resistencia química, resistencia a elevadas temperaturas y resistencia al impacto. Su temperatura de formado oscila entre 170 a 185° C. Sus aplicaciones se dirigen hacia la industria automotriz; su rigidez y precio permiten usarlo en estantes para lotes de motores, frentes de cocheras; así como muebles y empaques.

5.1.6. LÁMINAS DE POLIÉSTERES.

Incluye: PET, copoliésteres y policarbonato.

5.1.6.1. LÁMINAS DE POLIETILEN TEREFALATO (PET)

Es producido por Celonesa Mexicana, Eastman, Shell, Kimex y Acrilia. Termoplástico que recientemente se ha integrado al grupo de los plásticos commodities debido a su rápido crecimiento desde su aparición en la década de los setenta. Se produce de la polimerización del éster tereftálico. Formado al reaccionar ácido tereftálico y un glicol. Se caracteriza por su elevada transparencia y resistencia al impacto. Presenta un aislamiento eléctrico medio, resiste a los ácidos diluidos, hidrocarburos alifáticos y aromáticos, aceites, grasas, ésteres y alcoholes. No resiste agua caliente, ácidos y bases concentradas, hidrocarburos halogenados y cetonas.

El PET presenta condiciones semejantes al poliestireno, polipropileno y PVC, en consecuencia no tiene problemas en el proceso de termoformado. Su temperatura de formado oscila de 121 a 166° C. Su uso más difundido es en empaques.

5.1.6.2. LÁMINAS DE COPOLIÉSTERES.

Es similar al PET, la diferencia es que una parte del componente glicol y/o ácido tereftálico, se sustituye por otros compuestos alternativos como: glicoles cíclicos, ácido isoftálico y otros ácidos dicarboxílicos.

El tipo más importante es el copoliéster amorfo, resultante del ácido tereftálico con partes de etilenglicol, conocido como PETG. Se caracteriza frente al PET por su mayor transparencia, resistencia al impacto y procesabilidad. Es poco sensible a la fisuración por tensión, principalmente en contacto con líquidos alcohólicos. Sus principales aplicaciones son en artículos de papelería, películas protectoras y contenedores termoformados.

5.1.6.3. LÁMINAS DE POLICARBONATO

El Policarbonato es distribuido por Bayer y GE Plastics y *no es producido en México*. Puede ser de alta, media y baja viscosidad; las propiedades de estos tres tipos de policarbonatos son las mismas, ya que la viscosidad sólo interviene en el índice de fluidez, tipo de proceso y consecuentemente en la aplicación, pero no modifica las propiedades del material. Estas propiedades son: presenta una estructura amorfa y una baja tendencia a la cristalización. Las características sobresalientes del policarbonato son su tenacidad y resistencia al impacto, los cuales son superiores a la mayoría de los plásticos, razón por lo que son considerados como plásticos de ingeniería. Las propiedades eléctricas del policarbonato, no son buenas si se comparan con el polietileno. Las propiedades como temperatura de deflexión, transparencia y tenacidad, pertenecen a un material de alta funcionalidad, lo que ha extendido el uso del policarbonato en ingeniería eléctrica.

La principal limitante del policarbonato es su resistencia química. No resiste al benceno, tolueno, xileno, hidrocarburos clorados, metanol, ácidos y bases fuertes. Soporta agua a temperatura ambiente, algunos alcoholes, grasas, aceites, gasolina, jugo de frutas, ácidos diluidos y soluciones alcalinas.

Entre las aplicaciones del policarbonato se encuentran las ventanas de seguridad de lugares públicos, mamparas, domos y luminarias de la vía pública. Su principal aplicación es en el sector de envase de alimentos. Su resistencia al impacto y a la flama son requeridos en la fabricación de carcazas para automóviles.

Cuando se termoforma una lámina de policarbonato, el moldeo se puede llevar acabo mediante cualquiera de los procedimientos siguientes:

- Por vacío
- Soplando aire a presión
- Con ayuda de un pistón.

El uso de uno u otro procedimiento depende de la forma y destino de aplicación del artículo moldeado; por ejemplo: piezas con entalladuras generalmente se termoforman por el proceso de soplado de aire a presión.

En el termoformado de policarbonato, se obtienen piezas con dimensiones grandes como los domos que se utilizan para construcción.

Las temperaturas que se manejan en la termoformación son relativamente elevadas. El perfil de temperaturas que se recomienda para termoformar estas láminas se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.1.6.1. Perfil De Temperaturas.

ZONA	TEMPERATURA(°C)
TEMPERATURA DEL MOLDE	127
TEMPERATURA MÍNIMA DE FORMADO	168
TEMPERATURA NORMAL DE FORMADO	191
TEMPERATURA MÁXIMA DE FORMADO	204

5.2.0. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

Hay ciertas características especiales que un material debe poseer para que el formado sea exitoso. El éxito del termoformado implica la habilidad del material para ser llevado a la profundidad dentro de la cavidad del molde hembra ó al grado de estirado que presente en un molde macho. Desafortunadamente no todas las láminas termoplásticas poseen el mismo grado de esas propiedades. Las principales propiedades que deben presentar estas láminas son:

5.2.1. MEMORIA PLÁSTICA.

Una de las propiedades más importantes de un plástico es la memoria plástica y es la habilidad del material para poder mantener su misma estructura paralela aún después de haber sido sometido a diferentes operaciones, siempre y cuando no se debilite mecánicamente ni se degrade térmicamente, es decir, es la capacidad de un material de recuperar sus dimensiones originales tras ser deformado. Los acrílicos son materiales que presentan una excelente memoria plástica.

5.2.2. CALOR DE ELONGACIÓN.

Es la cualidad de estiramiento de un termoplástico reblandecido. Determina la profundidad máxima de formado.

5.2.3. CALOR DE RESISTENCIA.

Oposición del material reblandecido a ser estirado durante el formado. Determina el copiado del molde y la fuerza requerida para termoformar.

5.2.4. TEMPERATURA DE FORMACIÓN.

La temperatura de formación es un concepto referido a aquel nivel térmico requerido por un plástico para ser formado satisfactoriamente; éste parámetro promedio depende de la estructura del material que incluye peso molecular, distribución de peso molecular, densidad, punto de fusión, pigmentos y otros aditivos.

5.3.0.VARIABLES DE LOS MATERIALES.

Hay un numero de variables que pueden generar variaciones en las propiedades de la lámina, las cuales deben considerarse en el diseño de la pieza. Las variables clave se mencionan a continuación.

5.3.1. ESPESOR DE LA LÁMINA.

La variación en el espesor de la lámina puede causar un calentamiento desigual, un estiramiento desigual o ambos. La variación del espesor no debe ser mayor del 4 al 8% para cantidades grandes de producción.

5.3.1.1. ADELGAZAMIENTO EN EL ESPESOR DEL MATERIAL.

Bajo todas las condiciones de termoformado donde las piezas son formadas a partir de una lámina plástica, el área de la superficie se agrandará, habrá un estiramiento y por lo tanto el espesor del material se reducirá.

Uno de los factores decisivos para el adelgazamiento es la relación existente entre profundidad o altura, con el mínimo espacio de la abertura. Para estimar este adelgazamiento se deberá determinar el área de la lámina y dividirla entre el área de la pieza final, incluyendo el desperdicio. Siempre es deseable que los moldes y las piezas termoformadas tengan radios de curvatura generosos.

En la práctica se puede determinar el espesor directamente de una muestra termoformada cortando pequeños pedazos de las distintas secciones y determinando con un micrómetro o calibrador, otros métodos incluyen la utilización de láminas translúcidas y correlacionando la intensidad de color en las diferentes partes de la pieza. También se puede determinar trazando una cuadrícula en la lámina antes de termoformarla y observar la deformación de ésta después de formada la pieza.

5.3.2. VISCOSIDAD DE LA LÁMINA O VARIACIÓN EN EL PUNTO DE ABLANDAMIENTO.

Esta es principalmente aplicada a poliolefinas, si la lámina varía en el punto de ablandamiento de lámina a lámina; de cantidad a cantidad, esto puede causar problemas en mantener la uniformidad en el proceso de formación.

5.3.3. ORIENTACIÓN DE LA LÁMINA.

Si una lámina orientada debe ser usada, es importante que el grado de orientación sea el mismo en cada lámina y que la lámina que tome lugar en el cierre sea exactamente de la misma manera en cada tiempo; lo cual va a permitir obtener una máxima uniformidad en la pieza termoformada.

5.3.4. DENSIDAD DE LA LÁMINA.

La variación de la densidad de la lámina puede causar variaciones en la fuerza de enfriamiento, dureza, encogimiento, rigidez y temperatura ó tiempo de ablandamiento.

CAPÍTULO 6

PROBLEMAS Y SEGURIDAD EN EL PROCESO DE TERMOFORMADO.

6.1.0. GUÍA DE PROBLEMAS Y POSIBLES SOLUCIONES DURANTE EL PROCESO

Los problemas más comunes en el proceso de termoformado se deben principalmente al inadecuado manejo de temperaturas, que causan: deformación en la pieza (piezas poco detalladas); apariencia deficiente del artículo(marcas en la superficie, líneas blancas, ampollas o burbujas). Debido a la existencia de estos defectos, a continuación se presenta una guía para la solución de posibles problemas ocurridos durante el proceso de transformación.

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	SOLUCION SUGERIDA
I. AMPOLLAS O BURBUJAS	A. Rápido calentamiento	1. Disminuir la temperatura 2. Usar calentamiento lento 3. Incrementar la distancia entre el calentamiento y la lámina.
	B. Exceso de humedad	1. Presecarlo 2. Precalentamiento 3. Calentamiento por ambos lados.
	C. Calentamiento desigual	1. Obtener el material seco del suministrador.
	D. Tipo o formación de lámina incorrecta.	1. Checar por calentamiento 2. Obtener la formulación correcta.
II. LÁMINA QUEMADA	A. Superficie exterior de la lámina caliente.	1. Reducir el ciclo de calentamiento 2. Usar calentamiento lento.

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
III. DISTORSIÓN DE LA PIEZA POSTERIOR AL DESMOLDEO	A. Enfriamiento inadecuado de la pieza	<ol style="list-style-type: none"> 1. Checar el sistema de enfriamiento. 2. Aumentar el ciclo de enfriamiento 3. Aumentar la capacidad de enfriamiento del sistema.
IV. ARRUGAS	<p>A. Lámina muy caliente</p> <p>B. Vacío insuficiente.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Disminuir el tiempo de calentamiento 2. Disminuir la temperatura del calentador 1. Checar fugas en el sistema de vacío. 2. Checar perforaciones de vacío tapadas 3. Aumentar el número de perforaciones de vacío. 4. Checar la colocación apropiada de perforaciones de vacío. 5. Aumentar el tamaño de las perforaciones de vacío.
V. CAMBIO A LA INTENSIDAD DEL COLOR.	<p>A. Calentamiento insuficiente</p> <p>B. Calentamiento excesivo</p> <p>C. El molde está frío.</p> <p>D. El auxiliar está frío</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alargamiento del ciclo de calentamiento. 2. Elevar la temperatura de calentamiento 1. Reducir la temperatura de calentamiento. 2. Acortar el ciclo de calentamiento. 3. Si es en un mismo lugar de la lámina revisar los calentadores. 1. Calentar el molde. 1. Calentar el auxiliar

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
VI. PÉRDIDA DE LA CLARIDAD DEL REALCE	A. Profundidad del grabado demasiado pequeño para la relación del estirón	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumentar la profundidad del grabado 2. Disminuir la relación de estirón
	B. Estirón no uniforme	<ol style="list-style-type: none"> 1. Usando pantallas para controlar el patrón de calentamiento 2. Preestirar la lámina con pistón de ayuda y/o burbuja
VII. CRAQUEO DE LA PIEZA EN USO	A. Formado con esfuerzos considerables	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumentar la temperatura de la lámina durante el formado 2. Usar temperaturas adecuadas de formado y rangos de enfriamiento para piezas con estiramientos profundos 3. Aumentar bordes
	B. Espesor de la pieza muy pequeño para el estirón	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumentar el espesor de la lámina
	C. Calentamiento de la lámina sin control	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utilizar pantallas o sombras para controlar el patrón de calentamiento
VIII. PROTUBERANCIAS EN LA LÁMINA EN LA CARA DEL MOLDE	A. Lámina muy caliente	<ol style="list-style-type: none"> 1. Disminuir el ciclo de calentado 2. Disminuir la temperatura del calentador
	B. Perforaciones de vacío muy grandes	<ol style="list-style-type: none"> 1. Disminuir el tamaño de las perforaciones.
IX. BURBUJA DE PREESTIRAMIENTO NO UNIFORME	A. Calentamiento de la lámina sin control	<ol style="list-style-type: none"> 1. Checar la operabilidad de los calentadores 2. Usar pantallas o sombras para control de calentamiento 3. Checar corrientes de aire en la estación de calentamiento
	B. Presión de aire no uniforme en la burbuja	<ol style="list-style-type: none"> 1. Checar fugas en sistema de aire a presión 2. Checar sellado en la caja de burbuja

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
X. MARCAS EN LA SUPERFICIE	A. Molde sucio	1. Limpieza del molde frecuentemente.
	B. Marcas debidas al aire atrapado en la superficie del molde.	1. Con pequeñas perforaciones en la superficie del molde. 2. Agregar muchos huecos de vacío adicionales.
	C. Molde caliente	1. Reducir la temperatura del molde.
	D. Molde frío	1. Incrementar la temperatura del molde.
	E. Vacío pobre	1. Adicionar huecos de vacío 2. Si las marcas son aisladas, adicionar huecos de vacío en esta área.
	F. Molde de composición inapropiada	1. Usar moldes de aluminio cuando sea posible.
	G. Superficie del molde rugosa.	1. Superficie lisa 2. Cambiar el material del molde.
	H. Lámina contaminada	1. Control de la calidad de la lámina 2. Checar con el proveedor de láminas 3. Limpiar la lámina y el molde.
	I. Polvo en la atmósfera	1. Reducir el polvo en el aire

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	SOLUCION SUGERIDA
XI. TORCEDURA DE LA PIEZA	A. Pieza demasiado caliente al retirarla	<ol style="list-style-type: none"> 1 Disminuir la temperatura del molde. 2. Aumentar el enfriamiento de la lámina.
	B. Diseño de la pieza inadecuado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rediseñar aumentando en las áreas planas una pequeña curvatura o bordes.
	C. Distribución pobre del material	<ol style="list-style-type: none"> 1. Checar la variación del espesor de la lámina. 2. Checar la desigualdad en el calentamiento de la lámina. 3. Para estiramientos profundos usar pistón de ayuda y/o preestiramiento.
	D. Enfriamiento desigual de la pieza.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumentar la temperatura del molde y/o uniformar temperatura. 2. Checar el sistema de enfriamiento
XII. LA PIEZA SE AMARRA AL PISTÓN DE AYUDA	A. Temperatura del pistón muy caliente	<ol style="list-style-type: none"> 1. Disminuir la temperatura del pistón 2. Lubricar el pistón 3. Cambiar las características superficiales del pistón <ol style="list-style-type: none"> a) Cubrir con franela o fieltro b) Aplicación permanente de lubricante en la superficie
	B. Pistón de ayuda de madera	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lubricar el pistón 2. Cambiar las características superficiales del pistón <ol style="list-style-type: none"> a) Cubrir con franela o fieltro b) Aplicación permanente de lubricante en la superficie

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	SOLUCION SUGERIDA
XIII. MARCAS DE FRÍO O LÍNEAS DE "MARKOFF"	A. Temperatura del núcleo asistente frío.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incrementar la temperatura del núcleo asistente. 2. Cubrir el asistente con una franela de algodón.
	B. Baja temperatura del molde	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incrementar la temperatura de fijamiento para una resina en particular.
	C. Inadecuado control de temperatura en el molde.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incrementar el número de tubos. 2. Revisar el flujo de agua para el asistente.
	D. Lámina caliente.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reducir el calor. 2. Calentar más lentamente.
	E. Técnica errónea.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Usar una diferente técnica de formación.
XIV. DESGARRADO DE LA LÁMINA DURANTE EL FORMADO	A. Lámina muy caliente	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reducir el ciclo de calentamiento 2. Reducir la temperatura del calentador 3. Precalentar la lámina
	B. Distribución del material deficiente	<ol style="list-style-type: none"> 1. Checar la variación del espesor en la lámina 2. Checar el patrón de control de calentamiento
	C. Preestiramiento muy grande	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reducir el volumen de soplado para la burbuja 2. Reducir la temperatura de la burbuja
	D. Lámina muy fría	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumentar el ciclo de calentamiento 2. Aumentar la temperatura del calentador

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
XV. DISTRIBUCIÓN DEL MATERIAL DEFICIENTE	A. Considerable variación en el espesor de la lámina.	1. Checar el espesor de la lámina 2. Mejorar el control en la extrusión de la lámina
	B. Calentamiento de la lámina sin control	1. Checar la operación de los calentadores 2. Uso de pantallas o sombras para controlar el calentamiento 3. Checar corrientes de aire en la estación de calentamiento
	C. Molde muy frío	1. Aumentar la temperatura del molde 2. Checar el calentamiento uniforme del molde 3. Checar el sistema de control de temperatura del molde
	D. Desplazamiento de la lámina fuera del marco de sujeción	1. Mejorar la capacidad de sujeción del marco 2. Precalentamiento del marco a la temperatura normal de operación 3. Checar los calentadores alrededor del área de sujeción por inoperabilidad
	E. Método de formado erróneo para la pieza diseñada	1. Equilibrar el diseño de la pieza con los métodos de formado disponibles

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
XVI. VARIACIÓN DE PANDEO ENTRE LÁMINAS	A. Variación de temperatura entre lámina y lámina	<ol style="list-style-type: none"> 1. Insuficiente enfriamiento en la lámina después de la extrusión. 2. Corrientes de aire no deseadas a través de la sección de calentamiento.
	A. Uso de remolido no controlado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Control de calidad del remolido 2. Disminuir el porcentaje de remolido
XVII. PIEZA AMARRADA AL MOLDE	A. Pieza o molde muy caliente.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incrementar el ciclo de enfriado 2. Disminuir la temperatura del molde
	B. Superficie del molde deficiente	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uso de desmoldantes 2. Mejorar la superficie del molde
XVIII. ESQUINAS DELGADAS EN PIEZAS PROFUNDAS	A. Calentamiento de la lámina sin control	<ol style="list-style-type: none"> 1. Checar operabilidad de los calentadores 2. Usar pantallas o sombras para controlar el patrón de calentamiento 3. Checar corrientes de aire en la estación de calentamiento
	B. Distribución del material sin control	<ol style="list-style-type: none"> 1. Considerar otra técnica de formado como la burbuja de preestirado y/o ayuda de pistón
	C. Espesor de la lámina muy delgado.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumentar el espesor de la lámina
	D. Temperatura del molde no uniforme	<ol style="list-style-type: none"> 1. Checar la operabilidad del sistema de calentamiento del molde

6.2.0.SEGURIDAD EN EL PROCESO

Es una urgente necesidad en el medio industrial de nuestro país, que la seguridad logre profundizar bien en la Dirección General de las empresas. Es muy importante conocer perfectamente por qué la seguridad nos permite hacer ahorros en las pérdidas que tenemos para colocarnos en las mejores condiciones de competitividad y así tener mayores oportunidades en la permanencia futura.

La seguridad, es el conjunto de normas, obras y acciones, así como los instrumentos técnicos y legislativos requeridos para proteger la vida humana y la propiedad del hombre de la acción de fenómenos destructivos, tanto de los provocados por la naturaleza como los originados por la actividad mental. Es la actitud mental que nos enseña a desarrollar cualquier actividad en forma correcta para eliminar daños, lesiones y enfermedades ocupacionales

En el proceso de termoformado, se debe considerar la administración de la seguridad. Esta administración establece la aplicación de sistemas y controles como son: programas, procedimientos, auditorías, evaluaciones en el proceso de manufactura para identificar, entender, controlar y eliminar al máximo posible los incidentes y lesiones relacionadas con el proceso.

Uno de los aspectos principales de la seguridad es tener un conocimiento profundo del proceso basándose en:

- Los requerimientos del sistema: temperatura, presión, velocidad, tiempo.
- Comportamiento químico de los materiales en el desarrollo del proceso.
- Característica del producto a fabricar.
- Características y especificaciones de la maquinaria y/o equipo que se utiliza en el proceso; recibo del material, suministro eléctrico y equipo de protección.

Una vez definido un adecuado flujo de la operación, se recomienda elaborar en forma clara y sencilla un “Manual de operación y proceso”, garantizando con esto una mayor productividad y reducción de riesgos de accidentes.

El riesgo es la posibilidad de pérdida y el grado de probabilidad de estas pérdidas. La exposición a una posibilidad de accidente es definida como correr un riesgo y depende directamente de un acto o condición insegura. “Riesgo, daño y mal”, dentro del lenguaje de seguridad son sinónimos.

Un accidente es un acontecimiento no deseado que tiene por resultado una lesión, enfermedad ocupacional a una persona o un daño de propiedad. Generalmente es la consecuencia del contacto con una fuente de energía y se origina cuando este contacto sobrepasa la capacidad límite del cuerpo o estructura.

Los accidentes que pueden presentarse en la termoformación se clasifican en:

- Causas inmediatas
- Causas básicas

6.2.1. CAUSAS INMEDIATAS DE ACCIDENTES

Durante el proceso del termoformado, existen diversos factores que pueden provocar un accidente; dentro de las causas inmediatas se encuentran las condiciones y actos inseguros.

6.2.1.1. CONDICIONES INSEGURAS

Son las condiciones que únicamente se refieren al medio, es decir, cualquier condición física del medio con una alta probabilidad de provocar un accidente. Son las causas que se derivan del medio en que los trabajadores realizan sus labores (ambiente de trabajo) y se refieren al grado de inseguridad que pueden tener los locales, la maquinaria, los equipos y los puntos de operación. Para eliminar las condiciones inseguras se recurre a sistemas de seguridad y normas de seguridad. Las condiciones inseguras más frecuentes son:

- Falta de medidas de prevención y protección.
- Estructuras o instalaciones de la industria mal diseñada o deteriorada.

6.2.1.2. ACTOS INSEGUROS

Son las acciones que desarrolla una persona con alta probabilidad de que suceda un accidente. Son todas aquellas que dan por resultado un peligro. Los actos inseguros más frecuentes que los trabajadores realizan en el desempeño de sus labores son:

- Llevar a cabo operaciones sin previo adiestramiento
- Operar equipo sin autorización.
- Ejecutar el trabajo a velocidad no indicada.
- Bloquear o quitar dispositivo de seguridad.
- Limpiar, engrasar o reparar la maquinaria cuando se encuentra en movimiento.

Para actuar contra los actos inseguros se utilizan técnicas tendientes a conseguir el cambio de comportamiento de los trabajadores: formación, adiestramiento, propaganda, disciplina e incentivos.

6.2.2. CAUSAS BÁSICAS DE ACCIDENTES.

Es fundamental considerar que en todo proceso, por muy seguro que parezca: mientras exista el factor humano, existe el riesgo, el cual involucra la posibilidad de un accidente. Las causas básicas para la producción de un accidente son:

- Factores personales
- Factores de trabajo

6.2.2.1. FACTORES PERSONALES

Son aquellos que pueden producir un accidente debido a:

- Falta de conocimiento o habilidad (falta de experiencia o de adiestramiento)
- Problemas físicos o mentales (la persona no puede)
- Motivación incorrecta (la persona no quiere)

6.2.2.2. FACTORES DE TRABAJO.

Son los que se deben a:

- Mantenimiento inadecuado o inexistente.
- Diseño inadecuado del equipo, o equipo en malas condiciones.
- Políticas inadecuadas

6.2.3. FALLAS EN LA MAQUINARIA Y/O EQUIPO.

En la industria moderna de termoformación se producen artículos en gran escala, siendo las máquinas automáticas las de mayor aceptación, por lo tanto, los riesgos repercuten directamente en la producción, provocando pérdidas económicas para la industria. La maquinaria es una de las principales fuentes de accidentes de trabajo, pues, en razón de las velocidades a que trabaja, de sus componentes mecánicos y de sus componentes eléctricos genera más del 80% de todos los accidentes profesionales. Los riesgos en la maquinaria y/o equipo se clasifican en:

- Fallas primarias
- Fallas secundarias

6.2.3.1. FALLAS PRIMARIAS

Son las fallas que sufren los equipos y/o componentes durante la operación normal, cumpliendo con las condiciones de diseño. En términos generales, indican la incapacidad del equipo para soportar las condiciones especificadas en el diseño y fabricación, ya sea por mal diseño, fabricación defectuosa, o bien, por deterioro en servicio.

6.2.3.2. FALLAS SECUNDARIAS

Son las que resultan de sobrecargas debidas al ambiente, fenómenos naturales y/o una mala operación de la maquinaria. La probabilidad de riesgo por fallas primarias es mínima en cualquier industria química. Sin embargo, en la otra categoría el riesgo depende del ambiente de trabajo y error humano. Por lo que resulta necesario instalar en el termoformado sistemas de seguridad; como son paros automáticos eléctricos e instrumentos tales como termostatos. Por ningún motivo se deberá desconectar los sistemas de seguridad y si tal cosa se hiciera se conectarán y pondrán en funcionamiento nuevamente antes de que la máquina vuelva a operar. Los sistemas neumáticos son similares a los eléctricos.

Las conexiones de la alimentación del aire deberán ser supervisadas constantemente, para evitar desperfectos en las mangueras y conexiones. Las mangueras deberán ser las correctas en su material y resistencia a la presión. Por medio de cubiertas se preservarán las herramientas utilizadas en el corte de desperdicio, las cuales pueden provocar golpes y cortadas. Las cubiertas y otras partes metálicas de la maquinaria se deberán conectar a tierra en la forma y por los métodos establecidos en las normas técnicas para instalaciones eléctricas, esto es con el objeto de obtener un margen apreciable de seguridad y reducir al mínimo el riesgo de daños por electricidad estática. Los sistemas de seguridad deberán satisfacer las necesidades del equipo, según la NOM-004-STPS-1993 relativa a los sistemas de protección y dispositivo de seguridad en la maquinaria y equipo de los centros de trabajo. Las lesiones cuyo origen se encuentran en las herramientas utilizadas en el corte de desperdicio del material, tienen tres causas principales:

- Sierra manual defectuosa
- Empleo de la herramienta que no es la indicada para realizar un determinado trabajo.
- Empleo de la sierra y/o router haciendo caso omiso de la seguridad

Estas lesiones pueden ser eliminadas casi en su totalidad por los siguientes métodos:

- Control del depósito de la herramienta, por medio del cual todas las herramientas sean entregadas a los trabajadores en una inspección que se ocupe de conservarlas en buen estado y de sustituirlas cuando sea necesario.
- La enseñanza y adiestramiento cuidadoso en el empleo correcto de las herramientas son procedimientos muy adecuados.

El proceso de termoformado, puede considerarse un proceso altamente seguro, pero no totalmente, la mayoría de los accidentes son producidos cuando se operan máquinas manuales o semiautomáticas en la etapa de corte. En el caso del uso de máquinas de termoformado en línea ya sea intermitente o continuo, al ser todas las operaciones sincronizadas y automáticas la probabilidad de riesgo es todavía menor que en los casos anteriores, pero no nula.

6.2.4. EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

La indumentaria de trabajo comprende la ropa y los aditamentos que deben ser usados por los trabajadores en el desempeño de su actividad. La indumentaria, dentro de un aspecto técnico de seguridad, considera todo aquello que se debe poner el trabajador, en materia de vestido, accesorios y equipos de seguridad, también contempla aquellos que no debe ponerse o usar el trabajador. Dentro del ambiente de trabajo nunca se deberá traer:

- El cabello suelto.
- Pulseras, cadenas en los brazos o cuello, anillos, relojes, etc.
- Ropas sueltas o desabotonadas.

La ropa que debe usarse dentro del trabajo, deberá ser lo suficientemente amplia como para que permita libertad de movimientos, pero no tan amplia que en un momento dado pueda propiciar quedar atrapado por alguna máquina.

Desde luego, el atuendo más recomendable será el overol de la talla exacta. El vestido de trabajo se completa con el equipo de protección personal. El equipo de protección personal, es el conjunto de aparatos y accesorios fabricados especialmente para ser usados en diversas partes del cuerpo con el fin de impedir lesiones y enfermedades causadas por los agentes a los que están expuestas los trabajadores.

Los equipos de protección personal deben de satisfacer ciertos requisitos, siendo los más importantes:

- Proporcionar suficiente protección sin importar el tamaño del riesgo.
- El equipo debe ser liviano, para que resulte cómodo llevarlo puesto, duradero y causarle al trabajador el mínimo de molestias, dejándole al mismo tiempo la mayor libertad de movimiento y visibilidad.

En nuestro país, la necesidad de equipo de protección personal tiene su fundamento en la Ley Federal del Trabajo, en el Reglamento General de Seguridad en el Trabajo, Título Noveno: Del Equipo de Protección Personal del Artículo 174, en la NOM-017-STPS-1993 relativa a los requerimientos y características del equipo de protección personal para los trabajadores.

En el proceso de termoformado, la elección del equipo, se realiza en base a la parte del cuerpo que se quiere proteger y se usa con el fin de impedir lesiones a los trabajadores.

6.2.4.1. PROTECCIÓN PARA LA CABEZA

Es necesario usar casco de seguridad para proteger el cráneo, parte de la cara y el cuello, por posible riesgo de sufrir golpes, impactos, raspones, descargas eléctricas o una combinación de éstos.

Asimismo, en las máquinas más modernas que utilizan como medio de calentamiento lámparas de radiación infrarroja se requiere que el personal encargado del proceso, use anteojos de seguridad; que son protectores dotados de lentes de policarbonato en sombra adecuada, de acuerdo a las normas internacionales de transmitancia basadas en cristales, para evitar que los ojos sean dañados por radiaciones.

6.2.4.2. PROTECCIÓN PARA EL TRONCO

Los equipos de protección para el tronco son los que resguardan principalmente sus partes: pecho, espalda, hombros, cintura, abdomen, y órganos genitales; las temperaturas a las que se trabaja en la formación oscilan entre los 100 – 200 °C, por lo que se requiere el uso de mandiles de nylon; el peso del molde vacío de acuerdo al tamaño y material, hace indispensable el uso de fajas para evitar lesiones o posibles hernias.

6.2.4.3. PROTECCIÓN PARA LAS EXTREMIDADES.

Se utilizan guantes de asbesto y lana para proteger los dedos, manos y antebrazos de quemaduras y cortaduras que pueden producirse con las máquinas manuales y semiautomáticas, principalmente, cuando se realiza el corte con sierras y/o router.

Para proteger y cubrir el pie y tobillo contra lesiones, se usan zapatos con puntero de acero; los cuales brindan protección contra caídas de moldes, calor radiante y electricidad.

El equipo de protección personal nunca debe considerarse como sustituto de la eliminación del riesgo, ya que es imposible que éste proporcione una seguridad total al trabajador. Se considera indispensable, o al menos recomendable su uso para tener mayor seguridad durante el proceso de termoformación.

6.2.5. RIESGO DE INCENDIO

El fuego se ha descrito como una oxidación rápida con desprendimiento de calor y luz. Este se produce cuando se conjuntan tres elementos que son: un material combustible, esto es, un material en cuya composición intervengan el carbono y el hidrógeno; un comburente, o sea una sustancia que permita la combustión, el comburente por excelencia es el oxígeno, aunque hay otros en los que participan el ácido nítrico, el perclorato amónico o el flúor, y el calor. La conjunción de estos tres elementos debe estar perfectamente proporcionada para que el fuego se inicie; para que aumente una vez surgido, se pueden variar las proporciones de los mismos; igual ocurrirá cuando se quiera disminuir la intensidad del fuego. De manera gráfica, el fuego se representa por medio de una pirámide como se observa en la figura 6.2.4. (a) o por medio de un triángulo equilátero al que se ha asignado en cada uno de sus lados los elementos del fuego, ver figura 6.2.4. (b)

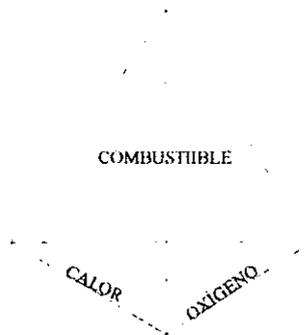


Figura 6.2.4. (a) Pirámide Del Fuego



Figura 6.2.4. (b) Triángulo Del Fuego

6.2.5.1. ETAPAS DE UN INCENDIO

Incendio, palabra que causa asombro, tristeza, pánico, inquietud, emergencia, pérdida y/o muerte. Las etapas de un incendio son:

- **Conato** Como su nombre lo indica es el inicio de cualquier incendio y su duración puede ser desde unos cuantos milisegundos hasta varias horas, dependiendo de la combustibilidad del material, su forma física, la cantidad de oxígeno en el aire y la fuente de ignición.
- **Producción de humo:** Es una etapa que sólo se presenta cuando la cantidad de oxígeno en el aire es insuficiente para quemar el material en forma completa y se caracteriza por una gran producción de calor, que descompone el material en gases y vapores destilados de alta capacidad de energía.
- **Pirolisis** El calor liberado por el fuego en la etapa anterior, crea un efecto endo - exotérmico que acelera la descomposición de más y más material convirtiendo éste en gases y vapores combustibles. En esta etapa si el fuego puede obtener oxígeno adicional en forma súbita puede provocar una deflagración y si es un recinto cerrado, una explosión.
- **Combustión libre:** cuando existe suficiente oxígeno del aire, la combustión continua hasta agotar el material.

El fuego puede crecer a una velocidad de hasta 1100 veces por segundo en materiales ordinarios, hasta 50,000 veces por segundo en líquidos combustibles y hasta 100.000 veces por segundo en polvos, vapores y gases premezclados.

6.2.5.2. TIPOS DE INCENDIO

Todo incendio por pequeño que sea, lleva implícito el riesgo de vida y pérdidas de propiedad por lo que resulta necesario: conocer a fondo todos los riesgos de las operaciones de la planta, proveer y mantener el equipo de protección, adiestrar a brigadas y tener orientados a los trabajadores para el caso eventual de un siniestro. Los incendios se clasifican en:

- Fuego tipo "A": Es aquel cuyo material combustible tiene dos formas de combustión superficial y brasa (madera, papel, hule, textiles)
- Fuego tipo "B": Es aquel cuyo material combustible solo quema en la superficie (líquidos, gases, sólidos fusibles y sólidos volátiles)
- Fuego tipo "C": Es aquel que involucra la presencia de energía eléctrica (motores, transformadores, interruptores)
- Fuego tipo "D": Es aquel que involucra metales combustibles (magnesio, sodio, potasio, titanio)

En la industria de termoformado, la maquinaria es alimentada de material en rollo o láminas cortadas directamente de la extrusora; por lo que no existe riesgo de incendio debido al manejo de materiales peligrosos, puede producirse un fuego tipo "B" a causa de la obtención de producto terminado inflamable, aunque la probabilidad es casi nula, ya que en materiales como el PET que arden fácilmente, se recomienda utilizar retardantes de flama como los óxidos de antimonio, sales de potasio y refuerzos fibrosos para reducir el goteo del material durante su combustión. Asimismo, la probabilidad de incendio, puede deberse al manejo de sustancias inflamables de manera secundaria, esto es, su manejo no es propio de la actividad principal, en la transformación de plásticos y por eso se ignoran, sin meditar que los incendios se inician en las áreas primarias, en las secundarias y aún en las más insignificantes.

Es recomendable que en el manejo de materiales inflamables, sin importar que sea de manera secundaria, estos se mantengan alejados de fuentes de calor, tapando el recipiente cuando no se use y dándole la ventilación adecuada. Se debe utilizar exclusivamente equipo eléctrico a prueba de explosión y herramientas antichispas. Es necesario colocar el equipo extintor de incendio al alcance para su uso inmediato en caso de ser necesario. Otra causa de incendio, puede deberse a un corto circuito, en la maquinaria y equipo, por lo que al existir la presencia de corriente eléctrica, existe el riesgo de fuego tipo "C".

6.2.5.3. TIPOS DE EXTINTORES

Los agentes extinguidores son sustancias que se aplican o proyectan en cantidad adecuada para extinguir el fuego. El extintor, es el recipiente donde se envasa la materia extinguidora. Los extintores de fuego, prácticamente son para el primer socorro, al enfrentarse con el principio de un incendio. Cada tipo de extintor es eficiente, pero no todos son efectivos, para los diferentes tipos de fuego. Los extintores se clasifican en base al tipo de fuego en:

- Extintor tipo "A": Dentro de esta clasificación se considera como agente extinguidor el agua pulverizada, agua a chorro, agua ligera y la espuma.
- Extintor tipo "B": El agente extinguidor más adecuado es el polvo químico seco, puede usarse también bióxido de carbono, tetracloruro de carbono y la espuma.
- Extintor tipo "C": En este tipo de fuego, es excelente el uso de polvo químico seco y bióxido de carbono para extinguir el principio de incendio.
- Extintor tipo "D": Se considera como agente extinguidor el púrpura K (bicarbonato de potasio)

En el proceso de termoformado, los extintores más utilizados son los:

- Extintores a base de polvo químico seco.
- Extintores a base de bióxido de carbono.

- Extintores a base de polvo químico seco.

El polvo químico seco, es una mezcla de polvos que se emplea como agente extinguidor a través de diversos dispositivos tales como extintores portátiles, mangueras manuales o sistemas fijos. Los primeros agentes desarrollados se constituyeron a base de bórax y bicarbonato de sodio para permitir su compatibilidad con espumas de baja expansión, permitiendo así efectuar ataques con dobles agentes.

Los principales productos empleados en la producción de polvos químicos son bicarbonato de sodio, bicarbonato de potasio, cloruro de potasio, bicarbonato de urea-potasio y fosfato monoamónico. Este último constituye el 75% del total de la composición química de este agente extinguidor.

Las pruebas realizadas en fuegos de líquidos inflamables y materiales sólidos han demostrado que los polvos secos a base de fosfato monoamónico han sido los más eficaces, cuando el polvo es arrojado directamente sobre el área incendiada las flamas son extinguidas casi instantáneamente. El mecanismo y la química de extinción logran su máxima efectividad debido a la gran capacidad de sofocación, obstrucción de radiación y enfriamiento que ofrece este agente. La utilización de este agente extinguidor se ha hecho muy popular no solamente en áreas de riesgo de materiales sólidos, sino que también han logrado una amplia aceptación en el combate de líquidos inflamables, así como en incendios de origen eléctrico.

- Extintores a base de bióxido de carbono.

El bióxido de carbono posee varias propiedades que lo convierten en un agente útil para la extinción de incendios. No es combustible y no reacciona con la mayor parte de las sustancias, así mismo proporciona su propia presión para ser descargado del cilindro contenedor. Puesto que el bióxido de carbono es un gas puede penetrar y repartirse por todas las superficies del área incendiada; sin embargo, no forma con el aire una mezcla homogénea y después de un cierto periodo de tiempo se estratifica.

En forma de gas o en forma pulverizada (nieve) no es conductor de electricidad, por lo tanto, puede ser usado en fuegos de equipos eléctricos bajo tensión. En condiciones normales, el bióxido de carbono es un gas, se licua fácilmente por compresión y enfriamiento, al aumentar estos dos elementos es posible también convertir el bióxido de carbono en un sólido.

El bióxido de carbono es un agente extinguidor eficaz, principalmente porque reduce el contenido de oxígeno del aire a un punto en el que no puede continuar la combustión. Bajo condiciones favorables de regulación y aplicación también es posible lograr un efecto enfriante.

Una posible limitación de este agente quizá pudiera ser su rápida disipación del lugar del incendio, ya que esto pudiera hacer posible una reignición si el volumen de oxígeno, es mayor al 6% con respecto al bióxido de carbono del área en cuestión, de igual manera será necesario mantener esta concentración para que las superficies calientes se enfríen por debajo de la temperatura de ignición del material combustible. No obstante, que estos casos se presentan en incendios de magnitudes considerables la efectividad del bióxido de carbono habla por sí misma en la supresión de conatos de incendio.

Además de ser los más adecuados para sofocar el fuego producido en este proceso (el polvo químico seco y el bióxido de carbono), son los más económicos comparados con la recarga de un extintor gas halón, el cual puede usarse también para esta clase de incendio.

El aplicar materiales extinguidores no adecuados provoca riesgo de reignición y en el caso de algunos agentes halogenados cuyos productos químicos pueden combinarse incrementará la toxicidad del medio, por lo que se requiere de todos los medios a nuestro alcance para minimizar el riesgo de vida, causado por el incendio y su extinción.

Las condiciones de seguridad para la prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo, deberán satisfacer las necesidades de la NOM-002-STPS-1993.

RECOMENDACIONES

- Esta tesis es una monografía que contiene la información más actual que se conoce dentro del campo de la transformación de plásticos en el proceso de termoformado.
- Se mostró una visión general de este proceso, que se espera sea de utilidad para la formación de profesionales especialistas en plásticos como son: Ingenieros Químicos, Industriales y Mecánicos; así como Diseñadores.
- Se recomienda la técnica de termoformado en el sector de la transformación a productos terminados, por la versatilidad que este proceso ofrece, que va, desde piezas con vida útil limitada y de pequeño tamaño, hasta donde es necesario la resistencia de alta corrosión como en los impulsores, juego de piezas motrices y piezas de mayores dimensiones. Esta versatilidad y consideraciones de tipo económico principalmente; es lo que nos permite la elección de esta ruta y no de otras para convertir materias primas en piezas, logrando un moldeo exitoso.
- La selección de la fuerza de formado (formado al vacío, formado bajo presión, formado con fuerza mecánica – moldes, macho – hembra), o sus combinaciones dependerá del diseño de la pieza, tamaño del producto, volumen a producir y la velocidad del ciclo de formado; limitaciones de cada material termoplástico, la construcción y material del molde y el equipo de termoformado disponible también son puntos a considerar. Esta evaluación y estimación del beneficio potencial de cada proceso, nos permite recomendar el *formado al vacío*, como la técnica más versátil, con menores costos de producción y como consecuencia la de mayor proyección. Además es la más adecuado para la utilización de refuerzos.
- Es indispensable tener un control estrecho de temperaturas en todas las etapas de operación.

- Cuando se necesitan fabricar piezas con geometrías especiales (muy profundas, de gran área, con espesores delgados), en el proceso de termoformado, es relativamente sencillo moldearlos, en cambio en el proceso de inyección, se tendría que utilizar un método especial.
- Para la fabricación de piezas grandes, el costo de los moldes de termoformado en comparación a los utilizados en el proceso de inyección están en una relación de 25 a 1 aproximadamente, dependiendo del tipo de molde. Como consecuencia se tendrá menores costos de producción y una mayor proyección.
- En el formado, una consideración importante es la elección del tipo y material del molde, ésta depende principalmente de la calidad y cantidad de artículos que se vayan a producir en dicho molde. Un molde macho es el más adecuado para formar piezas profundas. En general, un molde hembra no deberá emplearse para formar piezas que requieran una profundidad mayor de la mitad del ancho de la pieza. El molde hembra se usará cuando la cara cóncava de la pieza terminada sea la de utilidad.
- Para efectos de series cortas es factible utilizar moldes de yeso o maderas duras no resinosas. Para producciones medianas se recomiendan moldes de resinas epóxicas, poliéster. Para grandes producciones los moldes metálicos son recomendables, principalmente por su resistencia térmica y mecánica superiores a la de la madera y las resinas, así como por su excelente conductividad térmica.
- Los moldes deberán contar con suficientes orificios de vacío para que la lámina pueda formarse en las partes críticas del molde, los huecos de vacío, deberán hacerse en las partes más profundas y en las áreas en donde el aire pueda quedar atrapado, deben ser lo suficientemente pequeños para no causar marcas. Se puede lograr un vacío más efectivo si el orificio es agrandado por la parte interna.
- La superficie de los moldes puede ser forrada con franela de algodón, fieltro, terciopelo u otros materiales para disminuir las marcas del molde.

- Se recomienda instalar un sistema de control de temperatura en los moldes para mejorar los ciclos de producción y mantener lo más estable posible las condiciones de operación.
- En las Industrias Transformadoras se producen artículos en gran escala, siendo las máquinas automáticas las de mayor aplicación termoformando en línea ya sea intermitente o continua.
- Las láminas de copolímeros de estireno, por sus excelentes propiedades mecánicas y térmicas, que las hacen de gran demanda en la industria de refrigeración y de envases desechables, son los materiales de mayor uso en la actualidad en el mercado nacional.
- En el termoformado un aspecto fundamental a considerar es la seguridad en el proceso; debido a que pueden presentarse riesgos no sólo por la existencia del factor humano, sino también por fallas en la maquinaria y/o equipo. Asimismo, se presenta riesgo de incendio del tipo B y C por lo tanto se recomienda el uso de extintores de bióxido de carbono y polvos químicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AGUIRRE**, Martínez Eduardo
"Seguridad Integral En Las Empresas Industriales, Comerciales Y De Servicios"
2^{da} Ed, Trillas, México, 1996
2. **AMHSAC**
"Los Equipos De Protección Industrial"
Boletín de Higiene y Seguridad, Septiembre 1999
3. **AMSTEAND**, B. H. **OSTWALD**, F. Phillip. **MYRON L.** Begemon
"Procesos De Manufactura Versión S. I"
11^{va} Ed. Continental, México, 1996
4. **ASKELAND**, Donald R.
"La Ciencia E Ingeniería De Los Materiales"
Iberoamericana, México, 1987
5. **BERINS**, Michael J.
"Plastics Engineering Handbook"
Van Nostrand Reinhold Company, USA, 1991
6. **BODINI**, Gianni
"Moldes Y Máquinas De Inyección Para La Transformación De Plásticos"
Tomo I, 2^{da} Ed. Mc Graw – Hill, México, 1992
7. **BROWN**, R. L. E.
"Design And Manufacture Of Plastic Parts"
John Wiley and Sons, USA, 1980
8. **DUBOIS**, Harry J.
"Plastics"
6^{ta} Ed. Van Nostrand Reinhold Company, USA, 1981

9. **ENCICLOPEDIA MODERN PLASTICS**
Mc. Graw – Hill, USA 1984 – 1996

10. **GRANDILL, A. Peter**
“Technician’s Handbook Of Plastics”
Van Nostrand Reinhold Company, USA, 1981

11. **GRUENWOLD, P. E.**
“Thermoforming A Plastics Processing Guide”
Technomic, Publishing Co. Inc, USA, 1987

12. **HERNÁNDEZ, Z. Alfonso**
“Seguridad E Higiene Industrial”
1^{ra} Ed, Limusa, México, 1997

13. **IMPI**
“Industria De Transformación”
Instituto de Plástico Industrial, Julio 1998

14. **KAZANAS, H. C.**
“Procesos Básicos De Manufactura”
1^{ra} Ed. Mc Graw – Hill, México, 1988

15. **LAWRENCE, E. Doyle,**
“Materiales Y Procesos De Manufactura Para Ingenieros”
3^{ra} Ed. Prentice – Hall Hispanomericana, México, 1988

16. **MIKELL, P. Groover**
“ Manufactura Para El Diseño Industrial”
1^{ra}. Ed, Prentice – Hall, México, 1997

17. **MILBY, V. Robert**
“Plastics Technology”
Mc Graw – Hill, USA, 1985

18. **MORTON**, Jones D. H.
"Procesamiento De Plástico"
LIMUSA, México, 1997

19. **NIEBEL**, W. Benjamín
"Ingeniería Industrial"
Alfaomega, México, 1990

20. "**Plastics Engineering Handbook Of The Society Of The Plastics Industry, Inc.**"
Edited by Joel Frados, 4ta Ed. Van Nostrand Reinhold Company, USA, 1980

21. **PEMEX**
"Riesgos de Incendios"
Boletín de Seguridad Industrial, Núm. 26, 1997

22. **RAMOS**, Carpio M. A.
"Ingeniería De Los Materiales Plásticos"
Díaz de Santos, Madrid, 1988

23. **RICHARDSON** and **LOKENS**GARD
"Industrial Plastics Theory and Applications"
3^{ra} Ed. Delmer Publisher Inc. USA, 1997

24. **SCHWARTZ**, S. Saimour
"Plastics Materials And Processes"
Van Nostrand Reinhold Company, USA, 1982

25. **TADMOR**, Zehev
"Principles Of Polymer Processing"
John Wiley and Sons, USA, 1987

26. **THRONE**, James
"Thermoforming"
1^{ra} Ed. Carl Hanser Verlag, Alemania, 1987

APÉNDICE A

LISTA DE SIGLAS DE IDENTIFICACIÓN DE POLÍMEROS

ABS	Terpolímeros de acrilonitrilo-butadieno-estireno
AMMA	Copolímeros de acrilonitrilo-metacrilato de metilo
ASA	Terpolímeros acrilonitrilo-estireno-acrilatos
BMI	Resinas bismaleimidadas
BR	Caucho de polibutadieno
CA	Acetato de celulosa
CAB	Acetato-butilato de celulosa
CAP	Acetato-propionato de celulosa
CMC	Carboximetilcelulosa
CP	Propionato de celulosa
CPE	PE clorado
CPVC	PVC clorado
CR	Caucho de policloropreno
CS	Caseína
CTFE-VDF	Copolímero clorotrifluoretileno-fluoruro de vinilideno
CTPB	Polibutadieno carboxiterminado
DAPS	Diaminodifenilsulfona
EC	Etilcelulosa
ECTFE	Copolímero etileno-clorotrifluoretileno
EEA	Copolímero etileno-acrilato de etilo

ENR	Caucho natural epoxidado
EP	Resina epoxi
EPDM	Caucho etileno-propileno-dieno (también EPT)
EPM	Caucho etileno-propileno (también EPR)
EPS	Poliestireno expandido
EPT	Cauchos terpolímeros de etileno-propileno y butadieno o isopreno (también EPDM)
ETFE	Copolímeros etileno-tetrafluoretileno (también PETFE)
EVA	Copolímeros etileno-acetato de vinilo
FEP	Copolímero etileno-propileno fluorado
FRP	Plásticos reforzados con fibra
FGRP	Poliésteres reforzados con fibra de vidrio
GPSS	Poliestireno de uso general
HDPE	Polietileno de alta densidad
HIPS	Poliestireno grado alto impacto
HMWPE	Polietileno de alto peso molecular
HTPB	Polibutadieno hidroxiterminado
IIR	Cauchos butilo (isobutileno-isopreno)
IR	Cauchos de isopreno
LDPE	Polietileno de baja densidad
LLDPE	Polietileno de baja densidad lineal
MBS	Terpolímeros metacrilato-butadieno-estireno
MDPE	Polietileno de media densidad
MF	Resina de Melamina formaldehído

MPPO	PPO modificado (con estireno, generalmente)
NBR	Caucho nitrilo (acrilonitrilo-butadieno)
NC	Nitrocelulosa
NR	Caucho natural
PAA	Poliacrilamida
PA	Poliamida
PAI	Copolimeros poliamida-imida
PAN	Poliacrilonitrilo
PB	Polibuteno-1
PBI	Polibenciimidazol
PBO	Polibenzoxazol
PBT	Polibenzo (bis)tiazol
PC	Policarbonato
PCA	Policloroalcoxi
PCTFE	Policlorotrifluoretileno
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de alta densidad
PEBD	Polietileno de baja densidad
PEBDL	Polietileno de baja densidad lineal
PEEK	Polieteretercetona
PEK	Polietercetona
PEN	Polietilennaftanato
PES	Polietersulfona
PET	Polietilentereftalato

PETFE	Copolimeros etileno-tetrafluoretileno (también ETFE)
PF	Resinas fenol-formaldehído
PFA	Polifluoralcoxi
PHS	Polihidroxiestireno
PMMA	Polimetacrilato de metilo
PO	Polioléfina
POM	Polioximetileno
PP	Polipropileno
PPE	Polifenilenéter
PPMS	Poli-para-metilestireno
PPO	Polióxido de fenileno
PPS	Polisulfuro de fenileno
PPTA	Poli (p-tereftalamida)
PS	Poliestireno
PTFE	Politetrafluoretileno
PUR	Resinas de poliuretano
PVAc	Poliacetato de polivinilo
PVA	Polivinilalcohol (alcohol polivinílico)
PVB	Polivinilbutiral
PVC	Policloruro de vinilo
PVCA	Policloruro-acetato de vinilo
PVDC	Policloruro de vinilideno
PVDF	Polifluoruro de vinilideno
PVF	Polifluoruro de vinilo

SAN	Copolímero de estireno-acrilonitrilo
SBR	Cauchos estireno-butadieno
SMA	Copolímeros estireno-anhídrido maleico
UF	Resinas urea formaldehido
UHMWPE	Polietileno ultrapesado (de muy alto peso molecular)
UP	Resinas de poliéster insaturado
UPVC	Policloruro de vinilo no plastificado

DESIGNACIÓN ASTM PARA ELASTÓMEROS (ÚLTIMA LETRA)

- Cauchos de cadena principal formada por átomos de carbono.

R Insaturados

M Saturados

- Cauchos de heterocadena, con átomos de:

O Oxígeno

Q Silicio

T Azufre

U Oxígeno y nitrógeno

APÉNDICE B

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

TABLA B.1.0. PROPIEDADES DE LÁMINAS DE ESTIRENO

PROPIEDADES	UNIDADES	PRUEBA ASTM	POLIESTIRENO CRISTAL.	POLIESTIRENO DE MEDIO Y ALTO IMPACTO
FÍSICAS				
DENSIDAD	lb/in ³	D792	1.04-1.09	1.04-1.10
ABSORCIÓN DE AGUA	%	D570	0.03-0.1	0.05-0.6
ÓPTICAS				
TRANSMITANCIA	%	-	87-92	35-57
ÍNDICE DE REFRACCIÓN		D542	1.59-1.60	-
MECÁNICAS				
RESISTENCIA A LA TENSIÓN	p.s.i.	D638	5000-12000	1500-7000
ELONGACIÓN A LA RUPTURA	%	D638	1.0-1.25	2.0-9.0
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	p.s.i.	D790	8000-14000	3000-12000
DUREZA "ROCKWELL"	-	D785	1465-1480	M10-80 R30-10
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	p.s.i.	D695	11500-16000	4000-9000
TÉRMICAS				
TEMPERATURA DE DEFLEXIÓN:				
A 264 P.S.I.	°F	D648	220 MAX.	195 MÁX.
A 66 P.S.I.	°F	D648	180-230	180-220
RESISTENCIA AL CALOR CONTINUO	°F	-	150-170	140-175
ELÉCTRICAS				
RESISTENCIA AL ARCO	Seg.	D495	60-140	20-140
RESISTIVIDAD VOLUMÉTRICA	ohm-cm	D257	$>10^{16}$	$>10^{16}$
RESISTENCIA DIELECTRICA (ETAPA POR ETAPA)	volts/mil	D149	400-600	300-600
CONSTANTE DIELECTRICA	60 Hz	D150	2.45-3.1	2.45-4.75
QUÍMICAS				
EFECTO DE LUZ SOLAR	-	-	LIGERAMENTE SE AMARILLENTA	PIERDE RESISTENCIA Y LIGERAMENTE SE AMARILLENTA
EFECTO DE ÁCIDOS DÉBILES	-	D543	-	-
EFECTO DE ÁCIDOS FUERTES	-	D543	ATACADO POR ÁCIDOS ONIDANTES	
EFECTO DE ALCALIS DÉBILES	-	D543	-	-
EFECTO DE ALCALIS FUERTES	-	D543	-	-
EFECTOS DE SOLVENTES ORGÁNICOS	-	D543	SOLUBLE EN HIDROCARBUROS CLORADOS Y AROMÁTICOS	

TABLA B.1.1. PROPIEDADES DE LÁMINAS DE ESTIRENO

PROPIEDADES	UNIDADES	PRUEBA ASTM	COPOLIMERO DE ESTIRENO ACRILONITRILLO	ACRILONITRILLO- BUTADIENO-ESTIRENO
FÍSICAS				
DENSIDAD	lb/in ³	D792	1.075-1.100	1.02-1.06
ABSORCIÓN DE AGUA	%	D570	0.20-0.30	0.20-0.45
ÓPTICAS				
TRANSMITANCIA	%	-	78-88	33.3
ÍNDICE DE REFRACCIÓN		D542	1.56-1.57	-
MECÁNICAS				
RESISTENCIA A LA TENSIÓN	p.s.i.	D638	9000-12000	2500-8000
ELONGACIÓN A LA RUPTURA	%	D638	1.5-3.7	20-100
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	p.s.i.	D790	14000-19000	8000-14000
DUREZA "ROCKWELL"	-	D785	M80-M90	R75-115
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	p.s.i.	D695	14000-17000	5200-10200
TÉRMICAS				
TEMPERATURA DE DEFLEXIÓN:				
A 264 P.S.I.	° F	D648	190-220	170-225
A 66 P.S.I.	° F	D648	-	170-245
RESISTENCIA AL CALOR CONTINUO	° F	-	140-205	140-200
ELÉCTRICAS				
RESISTENCIA AL ARCO	Seg.	D495	100-150	-
RESISTIVIDAD VOLUMÉTRICA	ohm-cm	D257	>10 ¹⁰	1-4.8*10 ¹⁶
RESISTENCIA DIELECTRICA (ETAPA POR ETAPA)	volts/mil	D149	300-600	350-460
CONSTANTE DIELECTRICA	60 Hz	D150	2.6-3.4	-
QUÍMICAS				
EFFECTO DE LUZ SOLAR	-	-	LIGERAMENTE SE AMARILLENATA	-
EFFECTO DE ÁCIDOS DÉBILES	-	D543	-	-
EFFECTO DE ÁCIDOS FUERTES		D543	ATACADO POR ÁCIDOS OXIDANTES	
EFFECTO DE ALCALIS DÉBILES		D543	-	-
EFFECTO DE ALCALIS FUERTES	-	D543	-	-
EFFECTOS DE SOLVENTES ORGÁNICOS	-	D543	SOLUBLE EN CETONAS, ÉSTERES HIDROCARBUROS CLORADOS	

TABLA B.2.0. PROPIEDADES DE LÁMINAS DE CELULOSA

PROPIEDADES	UNIDADES	PRUEBA ASTM	ACETATO DE CELULOSA	PROPANATO DE CELULOSA	ACETATO BUTIRATO DE CELULOSA
FÍSICAS					
DENSIDAD	lb-in ³	D792	1.28-1.32	1.17-1.24	1.15-1.22
ABSORCIÓN DE AGUA	%	D570	2.0-7.0	1.2-2.8	0.9-2.2
ÓPTICAS					
TRANSMITANCIA	%	-	88	88	88
ÍNDICE DE REFRACCIÓN		D542	1.49-1.50	1.46-1.49	1.46-1.49
MECÁNICAS					
RESISTENCIA A LA TENSION	p.s.i.	D638	4500-800	2000-7800	2600-6900
ELONGACIÓN A LA RUPTURA	%	D638	20.0-50.0	29-100	50.0-100.0
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	p.s.i.	D790	6000-10000	2900-11400	4900-9000
DUREZA "ROCKWELL"	-	D785	R85-R120	R10-R122	R30-R115
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	p.s.i.	D695	-	2400-22000	-
TÉRMICAS					
TEMPERATURA DE DEFLEXIÓN:					
A 264 P.S.I.	°F	D648	-	111-228	-
A 66 P.S.I.	F	D648	-	147-250	-
RESISTENCIA AL CALOR CONTINUO	°F	-	140-220	155-220	140-220
ELÉCTRICAS					
RESISTENCIA AL ARCO	Seg.	D495	180-200	175-190	-
RESISTIVIDAD VOLUMÉTRICA	ohm-cm	D257	10 ¹¹ -10 ¹⁵	10 ¹² -10 ¹⁶	10 ¹¹ -10 ¹⁵
RESISTENCIA DIELECTRICA (ETAPA POR ETAPA)	volts.mil	D149	200-520	230-385	225-320
CONSTANTE DIELECTRICA	60 Hz	D150	4.0-5.0	3.7-4.3	4.0-5.0
QUÍMICAS					
EFFECTO DE LUZ SOLAR	-	-	LIGERAMENTE	LIGERAMENTE	LIGERAMENTE
EFFECTO DE ÁCIDOS DÉBILES	-	D543	LIGERAMENTE	LIGERAMENTE	LIGERAMENTE
EFFECTO DE ÁCIDOS FUERTES		D543	SE DESCOMPONE		SE DESCOMPONE
EFFECTO DE ALCALIS DÉBILES		D543	LIGERAMENTE	LIGERAMENTE	LIGERAMENTE
EFFECTO DE ALCALIS FUERTES	-	D543	ABULTAMIENTO	SE DESCOMPONE	SE DESCOMPONE
EFFECTOS DE SOLVENTES ORGÁNICOS	-	D543	SOLUBLE EN CETONAS Y ÉSTERES PROVENIENTES DE BAJOS ALCOHOLES. SE DISUELVEN EN HIDROCARBUROS CLORADOS Y AROMÁTICOS.		MUY SOLUBLE

TABLA B.3.0. PROPIEDADES DE LÁMINAS ACRÍLICAS

PROPIEDADES	UNIDADES	PRUEBA ASTM	METACRILATO	ACRÍLICO
FÍSICAS				
DENSIDAD	lb/in ³	D792	1.17-1.20	1.11-1.18
ABSORCIÓN DE AGUA	%	D570	0.1-0.4	0.20-0.80
ÓPTICAS				
TRANSMITANCIA	%	-	92	55-88
ÍNDICE DE REFRACCIÓN		D542	1.49	-
MECÁNICAS				
RESISTENCIA A LA TENSIÓN	p.s.i.	D638	7000-12000	5000-9000
ELONGACIÓN A LA RUPTURA	%	D638	02-Oct	20-70
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	p.s.i.	D790	13000-19000	7000-13000
DUREZA "ROCKWELL"	SHORE D	D785	M85-M105	R105-R120
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	p.s.i.	D695	121000-180000	4000-14000
TÉRMICAS				
TEMPERATURA DE DEFLEXIÓN:				
A 264 P.S.I.	° F	D648	165-200	165-194
A 66 P.S.I.	" F	D648	175-225	180-205
RESISTENCIA AL CALOR CONTINUO	° F	-	140-200	140-195
ELÉCTRICAS				
RESISTENCIA AL ARCO	Seg.	D495	NO HAY DATO	NO HAY DATO
RESISTIVIDAD VOLUMÉTRICA	ohm-cm	D257	>10 ¹⁴	>10 ¹⁶
RESISTENCIA DIELECTRICA (ETAPA POR ETAPA)	volts mil	D149	350-400	388-500
CONSTANTE DIELECTRICA	60 Hz	D150	3.3-3.9	3.5-4.0
QUÍMICAS				
EFFECTO DE LUZ SOLAR	-	-	NADA	LIGERAMENTE PÉRDIDA DE RESISTENCIA
EFFECTO DE ÁCIDOS DÉBILES	-	D543	NADA	LIGERAMENTE
EFFECTO DE ÁCIDOS FUERTES		D543	ATACADO POR ÁCIDOS OXIDANTES	
EFFECTO DE ÁLCALIS DÉBILES		D543	NADA	PRÁCTICAMENTE NADA
EFFECTO DE ÁLCALIS FUERTES	-	D543	ATACADO	PRÁCTICAMENTE NADA
EFFECTOS DE SOLVENTES ORGÁNICOS	-	D543	SOLUBLE EN CETONAS Y ÉSTERES E HIDROCARBUROS CLORADOS Y AROMÁTICOS.	

TABLA B.5.0. PROPIEDADES DE LÁMINAS DE POLIOLEFINAS

PROPIEDADES	UNIDADES	PRUEBA ASTM	POLIPROPILENO	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD
FÍSICAS					
DENSIDAD	lb-in ³	D792	0.902-0.910	0.95-1.45	0.91
ABSORCIÓN DE AGUA	%	D570	<0.01 A 0.03	<0.01-0.06	<0.01-0.06
ÓPTICAS					
TRANSMITANCIA	%	-	55-90	-	-
INDICE DE REFRACCIÓN		D542	1.19	-	-
MECÁNICAS					
RESISTENCIA A LA TENSIÓN	p.s.i.	D638	4300-5500	1600-4600	1500-3100
ELONGACIÓN A LA RUPTURA	%	D638	200-700	10-440	180-600
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	p.s.i.	D790	6000-8000	2000-6500	-
DUREZA "ROCKWELL."	SHORE D	D785	R80-110	M55-80	M33-57
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	p.s.i.	D695	6000-8000	2000-5500	-
TÉRMICAS					
TEMPERATURA DE DEFLEXIÓN:					
A 264 P.S.I.	° F	D648	125-140	105-145	100-175
A 66 P.S.I.	° F	D648	200-250	130-225	100-175
RESISTENCIA AL CALOR CONTINUO	° F	-	225-260	275	275
ELÉCTRICAS					
RESISTENCIA AL ARCO	Seg.	D495	136-185	-	-
RESISTIVIDAD VOLUMÉTRICA	ohm-cm	D257	>10 ¹⁶	-	-
RESISTENCIA DIELECTRICA (ETAPA POR ETAPA)	volts/mil	D149	450-650	-	-
CONSTANTE DIELECTRICA	60 Hz.	D150	2.2-2.6	-	2.28-7.6
QUÍMICAS					
EFECTO DE LUZ SOLAR	-	-	EL MATERIAL DESPROTEJIDO SE DEGRADA RÁPIDAMENTE, REQUIERE UN COLOR NEGRO PARA UNA COMPLETA PROTECCIÓN		BAJA RESISTENCIA
EFECTO DE ÁCIDOS DÉBILES	-	D543	LIGERAMENTE	MUY RESISTENTE	RESISTENTE
EFECTO DE ÁCIDOS FUERTES	-	D543	SE DESCOMPONE	ATACAIDO LENTAMENTE	
EFECTO DE ALCALIS DÉBILES	-	D543	LIGERAMENTE	MUY RESISTENTE	
EFECTO DE ALCALIS FUERTES	-	D543	ABULTAMIENTO	MUY RESISTENTE	
EFECTOS DE SOLVENTES ORGÁNICOS	-	D543	RESISTENTE HASTA 80 C		

TABLA B.6.0. PROPIEDADES DE LÁMINAS DE POLIÉSTERES

PROPIEDADES	UNIDADES	PRUEBA ASTM	POLIETILEN TEREFTALATO	POLIBUTILEN TEREFTALATO	POLICARBONATO
FÍSICAS					
DENSIDAD	lb.in ³	D792	1.34-1.39	1.31-1.38	1.2
ABSORCIÓN DE AGUA	%	D570	0.1-.02	0.08-0.09	0.15-0.18
ÓPTICAS					
TRANSMITANCIA	%	-	-	-	85-91
INDICE DE REFRACCIÓN		D542	1.64	-	1.586
MECÁNICAS					
RESISTENCIA A LA TENSIÓN	p.s.i.	D638	8500-10500	8200	8000-9500
ELONGACIÓN A LA RUPTURA	%	D638	3-300	50-300	100-130
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	p.s.i.	D790	14000-18000	12000-16700	13500
DUREZA "ROCKWELL"	SHORE D	D785	M94-101	M68,78,85,90	M70-88 R115-125
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	p.s.i.	D695	11000-15000	8600-14500	12500
TÉRMICAS					
TEMPERATURA DE DEFLEXIÓN:					
A 264 P.S.I.	°F	D648	-	122-185	265-285
A 66 P.S.I.	°F	D648	100-106	240-374	270-290
RESISTENCIA AL CALOR CONTINUO	°F	-	-	122-150	250
ELÉCTRICAS					
RESISTENCIA AL ARCO	Seg.	D495	-	75-192	70-120
RESISTIVIDAD VOLUMÉTRICA	ohm-cm	D257	-	10 ¹⁵ -2*10 ¹⁶	2.1*10 ¹⁶
RESISTENCIA DIELECTRICA (ETAPA POR ETAPA)	volts/mil	D149	-	300-400	380
CONSTANTE DIELECTRICA	60 Hz	D150	-	3.29-3.3	2.97-3.17
QUÍMICAS					
EFFECTO DE LUZ SOLAR	-	-	-	LIGERAMENTE	LIGERAMENTE
EFFECTO DE ÁCIDOS DÉBILES	-	D543	-	RESISTENTE	-
EFFECTO DE ÁCIDOS FUERTES		D543	ATACADO	ATACADO POR ÁCIDOS OXIDANTES	ATACADO LENTAMENTE
EFFECTO DE ALCALIS DÉBILES		D543	-	RESISTENTE	LIGERAMENTE
EFFECTO DE ALCALIS FUERTES	-	D543	ATACADO	ATACADO	ATACADO
EFFECTOS DE SOLVENTES ORGANICOS	-	D543	-	RESISTENTE A SOLVENTES COMUNES. ATACADO POR HIDROCARBUROS HALOGENADOS	RESISTE PARAFINA Y ES SOLUBLE EN HIDROCARBUROS AROMÁTICOS Y CLORADOS