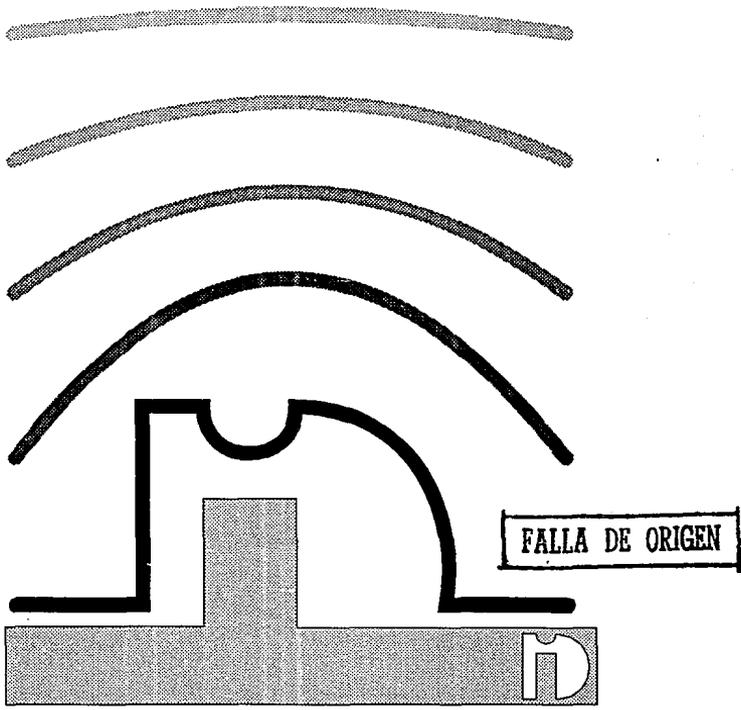


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ARQUITECTURA / CENTRO DE
INVESTIGACIONES EN **DISEÑO INDUSTRIAL**

Moldes y Materiales en el Proceso de Termoformado



FLAVIO AMOR MONROY
GUADALUPE VÉLASCO JIMENEZ
director de tésis:
LDI Jorge A. Vadillo López

TESIS PROFESIONAL
para obtener el título de
**LICENCIADO EN
DISEÑO INDUSTRIAL**



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 está 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.

P R O L O G O

Quien vió "Los Cazadores del Arca Perdida", película de S. Spilberg, podrá sentir la triste realidad de toda una labor sin conclusión; el final: al archivo muerto: secreto militar.

Hoy nos toca decidir como a muchos compañeros que concluyen los estudios profesionales, el tema con el que hemos de titularnos; y ya habiendo pasado algunos años en el medio que nos dá para comer, enfrentando situaciones en las que hay que dar una respuesta correcta, porque está en tus manos dar un buen cauce a lo que ha de llegar a manos de gente que espera cubrir alguna necesidad, y llegada nuestra hora de realizar éste "trámite" ¿porqué dejar nuestras experiencias guardadas en el coco como secreto? Aquí nuestra razón de ésta elección: dar cauce.

Intentaremos transmitir un balance de experiencias prácticas soportadas por principios técnicos de ingeniería y diseño que contribuyan a resolver los problemas cotidianos que se presentan en el proceso de termoformado.

Nos introduciremos en principios básicos del termoformado, materiales empleados y equipos, dando mayor énfasis en los moldes.

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE DISEÑO INDUSTRIAL
FACULTAD DE ARQUITECTURA

Coordinador de Exámenes Profesionales de la
Facultad de Arquitectura, UNAM
PRESENTE

EP01 Certificado de Aprobación de
Impresión

El director de tesis y los cuatro asesores que suscriben, después de revisar la tesis del alumno

NOMBRE **VELASCO JIMENEZ GUADALUPE** No DE CUENTA **8052576-5**

NOMBRE DE LA TESIS **"MOLDES Y MATERIALES EN EL PROCESO DE
TERMOFORMADO"**

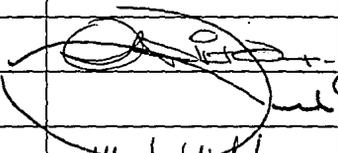
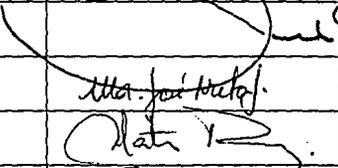
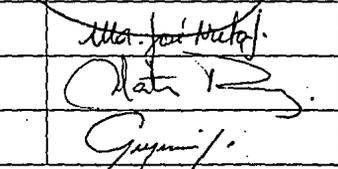
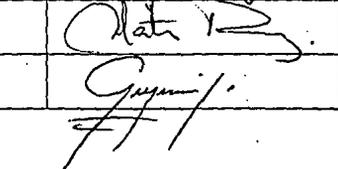
Consideran que el nivel de complejidad y de calidad de la tesis en cuestión, cumple con los requisitos de este Centro, por lo que autorizan su impresión y firman la presente como jurado del

Examen Profesional que se celebrará el día de de 199 a las hrs

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Ciudad Universitaria, D.F. a 27 abril de 1994

NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE D.I. JORGE VADILLO LOPEZ	
VOCAL D.I. FERNANDO RUBIO GARCIDUEÑAS	
SECRETARIO D.I. MARIA JOSE NIETO SANCHEZ	
PRIMER SUPLENTE D.I. MARTA RUIZ GARCIA	
SEGUNDO SUPLENTE D.I. CRISTINA GUZMAN SILLER	

Vo. Bo. del Director de la Facultad

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE DISEÑO INDUSTRIAL
FACULTAD DE ARQUITECTURA

Coordinador de Exámenes Profesionales de la
Facultad de Arquitectura, UNAM
PRESENTE

EP01 Certificado de Aprobación de
Impresión

El director de tesis y los cuatro asesores que suscriben, después de revisar la tesis del alumno

NOMBRE VELASCO, JIMENEZ, GUADALUPE No DE CUENTA 8052576-5

NOMBRE DE LA TESIS "MOLDES Y MATERIALES EN EL PROCESO DE
TERMOFORMADO"

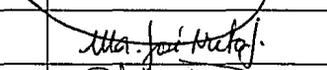
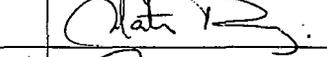
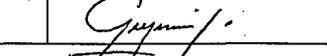
Consideran que el nivel de complejidad y de calidad de la tesis en cuestión, cumple con los requisitos de este Centro, por lo que autorizan su impresión y firman la presente como jurado del

Examen Profesional que se celebrará el día	de	de 199	a las	hrs
--	----	--------	-------	-----

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Ciudad Universitaria, D.F. a 27 abril de 1994

NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE D.I. JORGE VADILLO LOPEZ	
VOCAL D.I. FERNANDO RUBIO GARCIDUEÑAS	
SECRETARIO D.I. MARIA JOSE NIETO SANCHEZ	
PRIMER SUPLENTE D.I. MARTA RUIZ GARCIA	
SEGUNDO SUPLENTE D.I. CRISTINA GUZMAN SILLER	

Vo. Bo. del Director de la Facultad

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE DISEÑO INDUSTRIAL
FACULTAD DE ARQUITECTURA

Coordinador de Exámenes Profesionales de la
Facultad de Arquitectura, UNAM
PRESENTE

EP01 Certificado de Aprobación de
Impresión

El director de tesis y los cuatro asesores que suscriben, después de revisar la tesis del alumno

NOMBRE **AMOR MONROY FLAVIO** No DE CUENTA **7500935-1**

NOMBRE DE LA TESIS **"MOLDES Y MATERIALES EN EL PROCESO DE
TERMOFORMADO"**

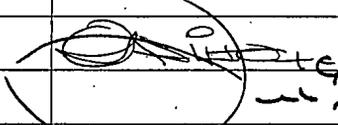
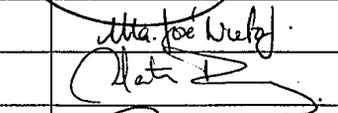
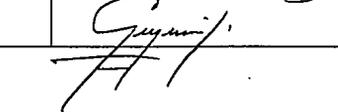
Consideran que el nivel de complejidad y de calidad de la tesis en cuestión, cumple con los requisitos de este Centro, por lo que autorizan su impresión y firman la presente como jurado del

Examen Profesional que se celebrará el día de de 199 a las hrs

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cludad Universitaria, D.F. a 27 abril de 1994

NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE D.I. JORGE VADILLO LOPEZ	
VOCAL D.I. FERNANDO RUBIO GARCIDUEÑAS	
SECRETARIO D.I. MARIA JOSE NIETO SANCHEZ	
PRIMER SUPLENTE D.I. MARTA RUIZ GARCIA	
SEGUNDO SUPLENTE D.I. CRISTINA GUZMAN SILLER	

Vo. Bo. del Director de la Facultad

I N D I C E

	PAGINA		PAGINA
1 INTRODUCCION	3	3.8 DESMOLDEO	44
1.1 HISTORIA	3	3.9 CORTE DE PIEZAS	44
1.2 PRINCIPIOS DEL TERMOFORMADO	4	<hr/>	
1.3 EL TERMOFORMADO Vs. EL MOLDEO	4	4 MOLDES	47
POR INYECCION		4.1 DISEÑO DE LA PIEZA	47
1.4 APLICACIONES DEL	6	4.2 DISEÑO DE MOLDE	51
TERMOFORMADO		<hr/>	
<hr/>		5 GUIA DE PROBLEMAS Y	59
2 CON QUE MATERIALES	8	SOLUCIONES	
TERMOFORMAMOS		<hr/>	
<hr/>		6 APENDICE	65
3 PROCESO DEL	13	6.1 APENDICE FOTOGRAFICO	65
TERMOFORMADO		6.2 TABLA DE CONVERSIONES	78
3.1 SIETE FUNDAMENTOS DEL	13	6.3 PROVEEDORES DE EQUIPO Y	78
TERMOFORMADO		ACCESORIOS	
3.2 ALIMENTACION DEL MATERIAL	16	<hr/>	
3.3 SUJECION (CLAMPING)	18	7 FUENTES DE INFORMACION	83
3.4 REQUERIMIENTOS DEL	18	<hr/>	
CALENTAMIENTO		8 CONCLUSION	84
3.5 EQUIPO DE TERMOFORMADO	24	<hr/>	
3.6 TECNICAS DE TERMOFORMADO	33	AGRADECIMIENTOS	85
3.7 ENFRIAMIENTO	44	<hr/>	

I

INTRODUCCION

1.1 HISTORIA

El termoformado siendo para muchos un nuevo método en la fabricación de materiales plásticos, es actualmente una de las técnicas más antiguas de moldeo, data fácilmente al siglo XIX.

Es una contribución americana a la industria, siendo la mayoría de otros métodos para el procesamiento del plástico, originados en Europa. Sin embargo, por muchos años, la industria de formado al vacío fue relativamente pequeña por carecer de materiales laminados adecuados así como equipo de formado en operaciones de producción. Estos factores impulsaron al desarrollo de plásticos para la inyección y técnicas de moldeo a compresión, pero alrededor de 1920, las láminas de celulosa dieron ímpetu a la industria, seguidas posteriormente por los acrílicos y vinilos. Esta industria permaneció chica hasta principios de los 1950's. La aparición del termoformado como el mayor de los procesos en la fabricación de los termoplásticos comenzó la aceleración a inicio de los 1950's cuando los contenedores y tapas formadas de poliestireno alto impacto penetraron exitosamente en la industria diaria para empaque de queso cottage, crema agria, yogurt y otras comidas. Las aplicaciones adicionales para el formado al vacío estaban en la manufactura de señalamientos y exhibidores, juguetes y aplicaciones para empaques.

La introducción de nuevas resinas, las más recientes poliolefinas, han impulsado el desarrollo de nuevas máquinas y técnicas de formado. Ha llevado a esta industria a una posición con nueva fuerza para las aplicaciones de termoformado al vacío.

Después que los ABS's fueron introducidos a la industria todas las aplicaciones posibles florecieron. Los ejemplos varían desde lanchas a saunas con hojas hasta de 10 a 25 pies (304.8 a 762 cm.) pesando hasta 100 libras (45.4 Kg) c/u.

1.2 PRINCIPIOS DEL TERMOFORMADO

El termoformado, es sólo uno de los muchos procesos de manufactura que convierte a las resinas plásticas en numerosos productos.

El principio del termoformado como sinónimo de conformar el contorno de un molde con una hoja plástica, es bien establecido y practicado en la industria del plástico.

Brevemente, esta técnica consiste en el calentamiento de una hoja termoplástica a una temperatura predeterminada para lograr su reblandecimiento, sometiéndola al contorno de un molde y finalmente enfriándola a temperatura a la cual el termoplástico se vuelve rígido y adopta la configuración del molde correspondiente. Las piezas son entonces recortadas y convertidas en producto casi terminado; si son componentes de piezas mayores como lanchas, aviones o automóviles, requieren de trabajo adicional como es el pintado, impresión, sellado por ultrasonido, pegado y otros procesos varios de terminado.

El termoformado actual amalgama varias técnicas del moldeo del plástico, tales como

- 1 formado al vacío
- 2 formado bajo presión
- 3 formado con fuerza mecánica -molde macho/hembra-

La selección de la fuerza de formado, o sus combinaciones, dependerá del diseño y de la pieza, tamaño del producto, volumen a producir y la velocidad de los ciclos de formado; limitaciones intrínsecas de cada material termoplástico, la construcción y material del molde y el equipo de termoformado disponible, también son puntos a considerar.

La hoja termoplástica sujeta y reblandecida es transferida al molde perfectamente sellado y donde el aire atrapado será evacuado por efecto de vacío o succión, así es como la hoja se ajusta al molde.

1.3 EL TERMOFORMADO Vs. EL MOLDEO POR INYECCION

Muchas nuevas aplicaciones requieren una decisión como la de que proceso debe usarse para convertir pellets plásticos en piezas. En la mayoría de los casos el moldeo puede ser exitoso, ya sea termoformado o por inyección; entonces la elección deberá ser hecha basándose en una evaluación y estimación del beneficio potencial de cada ruta. Los siguientes puntos claves deben ser considerados.

EL USO DEL TERMOFORMADO

VENTAJAS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • equipo de bajo costo • capacidad de obtener paredes más delgadas • capacidad de hacer piezas con área superficial más grande • un menor tiempo desde el inicio, en la producción • menor costo por cambios en modelos debido al bajo costo del herramental • ciclos de tiempo potencialmente más cortos 	<ul style="list-style-type: none"> • más remolido • espesores variables en paredes • bajo brillo superficial • menor complejidad permitida • mayor variación de una pieza a otra • dos pasos durante el proceso (extrusión más termoformado)

DIFERENCIAS BASICAS ENTRE EL PROCESO DE INYECCION Y EL DE TERMOFORMADO

VARIABLES	P R O C E S O	
	INYECCION	TERMOFORMADO
espesor	constante	variable
ángulos de salida del molde	0.5° a 1°	3° a 5°
temperatura de moldeo	200°C - 240° C	160°C - 180°C
tolerancia dimensional	excelente	relativamente buena / no para piezas de precisión
insertos	se puede la inserción de elementos en otros materiales o con cualquier textura	se puede preparar la superficie del molde para admitir insertos
acabado superficial	se pueden lograr superficies lisas o con cualquier textura	sólo superficies lisas y algunas texturas no muy profundas
producción	alta producción / cientos o miles de piezas diarias	media producción / algunas decenas de piezas diarias (depende del equipo)
molde	de acero con aleaciones o tratados / alto costo / diseño complejo / molde macho-hembra	variedad de materiales / costo relativamente bajo / diseño sencillo / se puede utilizar molde hembra o macho
posibilidad de hacer costillas, agujeros de todo tipo, roscas, etc.	sí	no
scrap / desperdicio de material	muy poco es recuperable	depende de la forma de la pieza / aproximadamente un 25% de desperdicio es recuperable
radios	es necesario redondear las aristas, aproximadamente 1.5 del espesor del material	se requieren radios comparativamente más grandes, desde 1 a 5 cm dependiendo de la forma y profundidad
tiempo de desarrollo de la pieza (desde el diseño, moldes y pruebas)	de 3 a 6 meses	1 mes máximo
tratamiento y acabados posteriores	se puede aplicar cualquier tratamiento o acabado (pintado, hot-stamping, metalizado, serigrafía, etc.)	se puede aplicar cualquier tratamiento o acabado (pintado, hot-stamping, metalizado, serigrafía, etc.)

1.4 APLICACIONES DEL TERMOFORMADO

Desde el rápido crecimiento en el campo de los plásticos, es interesante revisar las aplicaciones de la industria en general. La versatilidad que el termoformado nos ofrece, va desde piezas con vida útil limitada y de pequeño tamaño, hasta donde es necesaria la resistencia a la alta corrosión como en los impulsores, juego de piezas motrices y piezas de mayores dimensiones.

principales áreas de aplicación:

CONSTRUCCION. Más de 1.5 millones de toneladas de plástico son usadas en pinturas, recubrimientos, y adhesivos y otros 1.5 millones en áreas estructurales tales como ventanería, paneles, tubería, pisos, donde el termoformado destaca con tinas de hidromasaje, módulos de baño, lavabos, cancelería para baños, divisiones, ventanillas de aire acondicionado, escaleras, fachadas, domos y techados en general y otras aplicaciones que no pudieran ser fabricadas por ningún otro proceso.

AUTOMOTRIZ. Esta industria merece un minucioso escrutinio por las especiales demandas ingenieriles. La mayoría de las partes automotrices tienen unos requerimientos de servicio de los -40 a 82°C ó más. Esto elimina a muchos plásticos que se reblandecen o se vuelven quebradizos. De los plásticos mayormente utilizados se encuentran: ABS, acrílico, nylon, fenol, polipropileno, poliuretano, cloruro de polivinil, poliéster reforzado. Dentro del transporte, encontramos numerosas piezas termoformadas como asientos, respaldos, descansabrazos, vistas de puertas, mesas de servicio, parabrisas, consolas, guardas, spoilers.

EMPAQUE. Debido a la alta productividad y utilización de materiales termoplásticos de bajo costo, esta industria ha sido la mayormente beneficiada. La mayoría de los equipos de empaque (blister) son de alimentación automática de alta velocidad; estos equipos "foma-llena-sella", se utilizan para empaques de carnes frías, dulces, refrescos, cosméticos, artículos de papelería entre otros. Existe una gran cantidad de productos termoformados para la llamada "comida rápida", que abarcan desde contenedores de comida completa (con divisiones) hasta los empaques para hamburguesas, sandwiches, hot dogs, charolas, vasos. Así encontramos también contenedores para carne, huevo, frutas y verduras, generalmente diseñados para ser apilados y poder ser organizados uniformemente. Muchos de estos empaques cuentan con impresión, que puede realizarse antes o después del termoformado.

SEÑALIZACION. Por lo general, en anuncios luminosos exteriores se utilizan materiales como acrílico, acrílico alto impacto, policarbonato y poliestireno (los tres primeros ofrecen excelente

resistencia a la intemperie) debiendo ser transparentes (cristal) o translúcidos, ya que la mayoría son iluminados por la parte posterior. La impresión o decoración se puede aplicar antes o después del termoformado y de preferencia por la parte interna. Para la señalización que no requiere iluminación se utiliza preferentemente acrílico por la variedad de colores y texturas disponibles.

ARTICULOS PARA EL HOGAR. Producciones de alto volúmen como gabinetes, lavadoras, lavaplatos, secadoras de ropa, refrigeradores, humidificadores, gabinetes de televisión y radio, mesas, sillas, lámparas, artículos de cocina, charolas, vasos y platos, relojes, etcétera.

MEDICA. Encontramos dentro de hospitales, clínicas y consultorios una gran cantidad de artículos plásticos, desde un abatelenguas desechable de poliestireno, recipientes para muestras, hasta el termoformado de tinas de hidroterapia de gran tamaño.

Las propiedades físico-químicas, que la mayoría de los plásticos presentan brindan a éste sector grandes beneficios por los requerimientos de limpieza, costo-beneficio, vida útil limitada (desechables) entre otros.

AGRICULTURA Y HORTICULTURA. La comercialización de plantas de ornato en supermercados y tiendas especializadas, ha generado, desde hace tiempo, la necesidad de fabricar macetas, pequeños invernaderos, charolas para crecimiento de semillas y pequeños contenedores, inclusive hasta de múltiples cavidades para la exposición y venta. Este tipo de contenedores son fabricados con plásticos reciclados y a bajo costo.

EQUIPAJE. Permitiendo el termoformado piezas libres de esfuerzos, se reducen las posibilidades de fractura, es por eso que los fabricantes de maletas, divisiones internas, portafolios, tienden a cambiar del proceso de inyección por el de termoformado.

MISCELANEA. Existen una gran cantidad de productos termoformados en diferentes áreas industriales, así como muchos otros en los que éste proceso pudiera sustituirlos, piezas como cascos de bombero y de seguridad, hieleras, moldes para hielos, porta-bebés, charolas para revelado fotográfico, capelos para para aparatos electrónicos, juguetes, artículos promocionales, marcos para ventanería, zoclos, cajones, etc..

Como observamos, son muchas las áreas donde el termoformado ofrece sus servicios.

CON QUE MATERIALES TERMOFORMAMOS

2

Básicamente, todos los polímeros termoplásticos son adecuados para el proceso de termoformado. Dichos materiales, cuando son sometidos a un calentamiento presentan una variación en su módulo de elasticidad, dureza y capacidad de resistencia bajo carga. Con un incremento de temperatura que rebase la temperatura de deflexión al calor (HDT), el comportamiento tenderá a volverse en un estado ahulado, teniendo como valor crítico la temperatura de revenido del polímero termoplástico.

Los termoplásticos generalmente ofrecen alta fuerza al impacto, procesamiento más sencillo y mejor adaptabilidad para diseños complejos, que los termofijos.

ABS. Perteneciente a una familia única de plásticos de ingeniería, el nombre se deriva de los tres monómeros que lo producen. El Acrilonitrilo contribuye a las propiedades térmicas, a la resistencia química y a la estabilidad de propiedades durante la vida del producto. El Butadieno imparte retención de propiedades a baja temperatura, dureza y resistencia al impacto. El Estireno añade brillo, rigidez y facilidad de moldeo. Variando las proporciones en que se combinan los tres elementos, es posible producir una amplia variedad de grados de ABS para una gama igualmente amplia de aplicaciones en la industria automotriz, consolas y tableros, máquinas de oficina, productos eléctricos/electrónicos, carcasas de teléfono, juguetes, cubiertas de microdisketes, gabinetes para lámparas, divisiones internas para equipaje y electrodomésticos; algunos grados son fácilmente cromados.

ACETAL. Muy fuerte, plástico de ingeniería rígido con estabilidad dimensional excepcional y resistencia a la fatiga por vibración; bajo coeficiente de fricción; alta resistencia a la abrasión y químicos; retienen la mayoría de las propiedades al sumergirse en agua caliente; baja tendencia al craqueo por tensión. *

ACRILICO. Alta claridad óptica; excelente resistencia al intemperismo; gran brillo superficial; excelentes propiedades eléctricas; buena resistencia química; disponibilidad en colores transparentes, translúcidos, fluorescentes, perlescentes, marmoleados y texturas. Lo encontramos en tinas, módulos para baño, lavabos, letreros luminosos, muebles, domos y techados en general.

ACRILICO IMPACTO. Lámina fabricada por el proceso de casting continuo, diferenciándose de

otros materiales de impacto que son fabricados por el proceso de extrusión. Tiene un amplio rango de temperatura de termoformado (177 a 199°C), este rango proporciona la flexibilidad necesaria para formar partes difíciles con buen acabado a temperaturas elevadas o para termoformar a temperaturas menores para incrementar la velocidad de producción. A altas temperaturas cambia a un color blanco lechoso pero al enfriarse recobra su transparencia natural. Posee la cualidad de poder corregir errores de operación e irregularidades de equipo siendo recalentada a una temperatura mayor y reducir las marcas del moldeo anterior y re-formada en una pieza aceptable. De este material se hacen casetas telefónicas, tinas, anuncios luminosos, hasta cascos de lanchas

ACRILICO DE MOLDEO PROFUNDO. Metacrilato de metilo parcialmente reticulado, presenta propiedades superiores de termoformado que la lámina acrílica de uso general, puede ser formada mas fácilmente, requiriendo una menor fuerza de trabajo, alcanza un mayor estiramiento sin rasgarse, presenta una mayor resistencia a la temperatura, permitiendo una mayor flexibilidad en la operación así como excelentes propiedades mecánicas y de retardancia a la flama además de resistir a un alto número de sustancias químicas, es por eso su gran aceptación en mobiliario para baño en lavabos, tinas, y aquellas piezas que requieran de un formado muy profundo.

CELULOSA. Familia de materiales fuertes y flexibles; acetato de celulosa, celulosa de propionato, butirato de etilo. El rango de propiedades es amplia debido a su composición; disponible en diferentes grados para la resistencia química, al clima y humedad; favorable para una pobre estabilidad dimensional; colores brillantes. *

CYCOLOY[®] (aleación de Policarbonato y ABS). Las mezclas CYCOLOY basadas en la tecnología del policarbonato y ABS, han sido especialmente desarrolladas para la fabricación de piezas interiores para la industria del automóvil y de cajas de componentes electrónicos. Sin embargo, su perfil de propiedades las hace ideales para una amplia gama de aplicaciones entre las que se encuentran las carcasas para dispositivos eléctricos y accesorios de iluminación, entre otras.

FLUOROPLASTICOS. Gran familia (PTFE -polite trafluoro etileno-, FEP -copolímero de fluoruro etileno propileno-, PFA, CTFE -clorotrifluoro etileno-, ECTFE, ETFE y PVDF -fluoruro de polivinildeno-) de materiales caracterizados por excelentes propiedades dieléctricas y resistencia química, baja fricción y extraordinaria estabilidad a altas temperaturas; es de alto costo.

NORYL[®] (Oxido de Polifenileno modificado -PPO-). La versatilidad y la economía de esta resina ha quedado demostrada en una extensa gama de aplicaciones en un amplio espectro industrial. Desde piezas de interior de automóviles, entre las que se incluyen tableros y paneles de instrumentos, cajas y chasis de máquinas de oficina, conductos portacables y cubiertas de alumbrado, hasta engranajes.

Presentado tanto en tipos reforzados como no reforzados con distintos niveles de resistencia

térmica y a los rayos UV, ésta resina permite a los ingenieros una excepcional libertad de diseño. Algunas de las industrias en las que las propiedades del PPO satisfacen los requisitos más exigentes son: eléctrica/electrónica, telecomunicaciones, construcción, electrodomésticos, manejo de materiales y automotriz.

NORYL[®] GTX (aleación de PPO). Aleación de óxido de polifenileno (PPO) modificado, fue desarrollado para las aplicaciones que requieren combinaciones de alto rendimiento a altas temperaturas, estabilidad dimensional, resistencia química y baja absorción de agua, especialmente en las aplicaciones donde el plástico es pintado. Aplicaciones del Noryl GTX incluyen carcasas de espejos de automóviles, paneles laterales pintados en la línea automotriz y puertas.

NYLON (poliamida). Familia de resinas de ingeniería con excelente resistencia al desgaste y a la flexión; bajo coeficiente de fricción, excelentes propiedades y resistencia química. Las resinas son higroscópicas; la estabilidad dimensional es menor que en la mayoría de otros plásticos de ingeniería. Algunos grados se pueden cromar. *

POLIAMIDAS. Gran fuerza, resina de ingeniería amorfa de alta temperatura. Puede dar servicio a temperaturas muy altas (260°C); requiere largos programas de curado postmolde; costo elevado.*

POLICARBONATO (PC). Si lo que se requiere es una alta resistencia al impacto, transparencia, estabilidad dimensional, resistencia térmica, resistencia estructural, larga vida útil y versatilidad de diseño, éste es el material ideal. Transparente en su forma natural, puede suministrarse en una extensa gama de colores. Al ser moldeado, reproduce el acabado superficial del molde con gran precisión. Proporciona a los diseñadores la opción de acabados de alto brillo o de superficie texturizada para satisfacer las necesidades de imagen del producto y sus exigencias de rendimiento. El policarbonato tiene un largo historial de éxitos en los sectores: automotriz, iluminación, empaque, instrumental médico esterilizable, cuerpos de máquinas de oficina, garrafones de agua retornables, biberones para niños, escudos de seguridad, cascos, micas para cascos, anuncios luminosos, difusores, etc..

POLIESTER (PBT). Combinando excelentes características de resistencia mecánica, térmica y eléctrica con una elevada resistencia química, lubricidad (bajos coeficientes de fricción), y estabilidad dimensional además de una excepcional resistencia dieléctrica, el políester termoplástico resulta idóneo para interruptores eléctricos, controles de distribución de alta tensión, conectores de máquinas de oficina y una extensa gama de componentes eléctricos. Su buena moldeabilidad y excelente aspecto superficial, junto con su resistencia térmica y química lo hacen el material de elección para elementos estéticos en equipos desde teclados de computadoras hasta electrodomésticos. Por ejemplo en carcasas de planchas de vapor, y aplicaciones "bajo el cofre" en la industria automotriz. Es sensible a las muescas; no es adecuado para el uso en intemperie

ni el servicio en agua caliente; se encuentra también disponible en formulaciones termofijas. *

POLYETHERETHERKETONE. Fuerte, resina de ingeniería resistente al calor, capaz de un servicio continuo de 248°C. Excelente resistencia a la abrasión y a cualquier agente químico acuoso.

POLIETERMIDA. Ofrecen características mecánicas insuperables con una excepcional resistencia al calor, frente a una amplia gama de productos químicos junto a una excelente estabilidad dimensional y resistencia a la plastodeformación. En dispositivos médicos la Polietermida resiste el calor de autoclave hasta en 4,000 ciclos. Es el material termoplástico de ingeniería más sofisticado que existe. Su alta resistencia a la torsión es única entre los termoplásticos y por eso es la alternativa más rentable en relación con metales. Otras aplicaciones incluyen: sustratos para circuitos impresos, gafas de tarjetas circuito y piezas médicas esterilizables al vapor. La temperatura de deflexión a 264 psi es de 200° C (392°F). *

POLIETILENO. Gran variedad de grados: formulaciones de densidad baja, media y alta. Los de baja densidad son flexibles, los de media y alta son más fuertes, más duros y rígidos; todos son ligeros, fáciles de procesar, material de bajo costo; pobre estabilidad dimensional resistencia al calor; excelente resistencia química y propiedades eléctricas. También disponibles en ultra-alto peso molecular y en grados lineales de baja densidad.

POLYMIDE. Excelente resistencia al calor (260°C -500°F- continuo, 482°C -900°F- intermitente). Resistencia al alto impacto y al desgaste; bajo coeficiente de expansión térmica; excelentes propiedades eléctricas; difícil de procesar por métodos convencionales; alto costo. *

PVC ESPUMADO. Es un panel espumado fuerte y rígido, no permite cuarteaduras ni deformaciones, es retardante a la flama, a prueba de intemperismo por lo que es recomendable para aplicaciones en exteriores, ligero y colores a prueba de decoloración, utilizado para artículos promocionales, portafolios, equipaje y paneles para exposición, etc... El mejor rango de temperatura, dependiendo del método de formado es de 120 a 180°C.

ETER DE POLIFENILENO. Excelente estabilidad dimensional (muy baja absorción de humedad); propiedades eléctricas y mecánicas superiores, en un rango amplio de temperaturas. Resiste la mayoría de químicos pero es atacado por algunos hidrocarburos. *

SULFURO POLIFENILENICO. La resina es cristalina con propiedades de resistencia a la flama inherentes, así como con excelente resistencia química incluso a altas temperaturas (243°C-470°F-). Es un polímero idóneo para las aplicaciones industriales, eléctricas-electrónicas y de la industria automotriz más exigentes. Fácilmente procesada mediante equipos convencionales, su contracción por moldeo es predecible, su estabilidad dimensional reproducible y sus características

de flujo permiten el diseño de piezas complicadas con secciones de pared muy delgadas. *

POLIPROPILENO. Sobresaliente resistencia al doblado y al craqueo por tensión; excelente resistencia química y propiedades eléctricas; buena fuerza de impacto por arriba de los -9°C (15°F); buena estabilidad térmica; ligero, bajo costo. Algunos grados pueden ser cromados.

POLIESTIRENO. Bajo costo, fácil de procesar, rígido, cristal-transparente, material quebradizo; baja absorción de humedad, baja resistencia al calor, pobre estabilidad a la intemperie; modificado a menudo para mejorar la resistencia al impacto o al calor. Encontramos con este material, platos, vasos desechables, anuncios luminosos, difusores, bases para lámparas, etc..

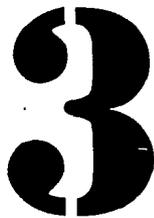
POLISULFONA, POLIETERSULFONA. La temperatura de deflexión más alta, que permite el procesamiento de termoplásticos; requiere alta temperatura de proceso; flexible (pero sensible a las muescas), fuerte y tieso; excelentes propiedades eléctricas y estabilidad dimensional, aún a elevadas temperaturas; puede ser cromado; costos elevados. *

POLIURETANO. Flexible, material extremadamente resistente a la abrasión y al impacto; puede ser fabricado dentro de películas, moldeados sólidos o espumas flexibles; la exposición a los rayos UV produce fragilidad, baja de propiedades y amarillamiento; también es fabricado en formulaciones termofijas.

SANTOPRENE[®]. Hule termoplástico de la familia de los elastómeros avanzados que combina exitosamente las características de desempeño de los hules vulcanizados, como resistencia al calor y baja compresión, con el fácil procesamiento de los termoplásticos. Partículas de caucho reticulado dispersadas mediante una matriz continua de material termoplástico. Una partícula de hule promedio de un micrón o menos resulta en propiedades físicas bastante favorables. Debido a su termoplasticidad y características en el flujo de fundición, el material es procesado con el equipo estándar para termoplásticos. Como resultado, este puede ser inyectado, extruído, moldeado por soplado con la eficiencia y economía asociados a los materiales termoplásticos. Además el scrap fácil en limpieza, puede ser reciclado. Disponibilidad en diferentes grados de dureza. Tiene las mismas equivalencias de resistencia a las de los componentes ahulados de propósito general y la resistencia de flúidos es comparable a los componentes ahulados del policloropreno de propósito general. *

XENOY[®] (aleaciones termoplásticas). Fue inicialmente desarrollada para las piezas externas de carrocerías de automóviles, hasta la fecha esto se ha traducido en la fabricación de defensas resistentes al impacto en 22 modelos internacionales de automóviles. Las características de alta resistencia al impacto, incluso a temperaturas bajo cero, la buena resistencia química y resistencia a los rayos UV han abierto el uso de Xenoy a cuerpos de herramientas eléctricas, sistemas para el manejo de líquidos y pallets para el movimiento de materiales.

* termofomables sólo en ciertos grados.



PROCESO DE TERMOFORMADO

3.1 SIETE FUNDAMENTOS DEL TERMOFORMADO

La estabilidad necesaria a largo plazo para lograr productos rentables y de calidad puede ser perfeccionada siguiendo los 7 siguientes fundamentos de operación.

La estabilidad durante el proceso del termoformado es esencial para lograr rentabilidad, competitividad, calidad y una fácil operación. El perfeccionamiento en la consistencia, requiere de contribuciones del diseñador, del proveedor de resinas, la extrusora de hoja/película, y del operario de termoformado. Cada uno debe ayudar desde el inicio, a determinar las especificaciones de la pieza, consultando a toda la gente necesaria para una asimilación práctica de los requerimientos.

Experiencias de 40 años, marcan que el 72% de las complejidades y variables en el proceso de termoformado se atribuyen a la manufactura del pellet (materia prima) y de la lámina plástica, y el 28% restante en el proceso de termoformado.

1 RESINA.

El tipo de resina y su especificación debe ser determinada muy al principio en el proceso de producción. Las tolerancias en dichas propiedades y el flujo de fundición, olor y tiempo de curado también debe ser establecido.

De ser posible, debe ser usado un único proveedor para poder garantizar responsabilidad, continuidad, consistencia y asistencia técnica. El comenzar con un material estable, homogéneo, que reúna especificaciones, nos dá la seguridad de que el fabricante de láminas puede producir el producto necesario. Es necesaria una comunicación cercana con los proveedores de resinas y láminas.

2 HOJA Y PELICULA.

La consistencia en reunir especificaciones, aunada a la combinación de uniformidad y homogeneidad

a lo largo de las corridas de producción, es básico para tener un termoformado de calidad y libre de problemas.

El problema más serio y común encontrado en láminas o películas extrudidas es cuando la resina, aditivos y remolido no son consistente y perfectamente mezclados, pues el material no será idéntico durante toda la corrida.

El usuario/diseñador debe asegurarse de que el operario de termoformado reciba el material apropiado. Las especificaciones prácticas de la lámina deben establecerse con el proveedor de láminas en la primera etapa de planeación. (cuadro 1)

La Sociedad Corporativa de la Industria de los Plásticos, define que las láminas/hojas son de un espesor 0.010" (0.0254 cm) ó más, y para película, menor de 0.010".

3 CALENTAMIENTO DE LA HOJA

Suponiendo que el termoformador tiene una buena lámina con la que trabajar, el siguiente factor más importante es el adecuado calentamiento. El espesor de la hoja debe ser calentado uniformemente a la temperatura del proceso a fin de evitar la degradación, debe tenerse cuidado en no sobrecalentar las superficies. Cuando el centro de la hoja está por debajo de la temperatura de proceso, se crea tensión excesiva en la pieza formada, produciendo resultados negativos tales como deformación y menor resistencia al impacto. Pequeños paneles de cerámica o calentadores de cuarzo son el tipo de calentamiento más eficiente y preferido.

4 AIRE COMPRIMIDO Y VACIO

Para tomar ventaja total en el proceso de termoformado, la mayoría de las piezas son formadas en "molde de una cara". Un gran porcentaje de piezas termoformadas están fabricadas únicamente por presión de vacío. La presión de vacío más alta que se puede conseguir es al nivel del mar y es de 14.7 psi. Para obtener este nivel, todos los sistemas de vacío deben alcanzar una presión de 29" de mercurio (Hg), o más, preferentemente. Para obtener piezas libres de esfuerzos y máxima calidad, normalmente se usa un vacío rápido. No deben existir codos a 90° en ningún lugar del sistema de vacío, desde el tanque hasta el molde, sino únicamente conexiones rectas y mangueras flexibles de vacío. En pocos casos donde es deseada una pequeña cantidad de vacío, pueden ser usadas válvulas de control, y aplicar el vacío total, tan pronto como sea posible. El agregar 50 psi de aire a presión, es de gran ayuda en el termoformado, y mejora las propiedades y detalles de la pieza terminada. El uso de aire comprimido junto con el vacío es llamado formado a presión. Una vez determinados los tiempos y la cantidad de presión para el formado, deberán mantenerse de ahí en adelante.

5 TEMPERATURA DEL MOLDE

Para perfeccionar constantemente piezas de calidad a un precio económico, deben ser usados

LISTA DE CHEQUEO DE ESPECIFICACIONES PARA LA COMPRA DE LAMINAS O PELICULAS

Todo material comprado debe ser acompañado de especificaciones escritas. La información de pruebas y especificaciones, es mejor que sea del material transformado en hoja, en vez de alguna muestra moldeada por inyección o compresión. Los siguientes son puntos a considerar y para revisar junto con el vendedor de hojas y resinas.

- 1 cantidad de la orientación requerida; una muestra de 250x250 mm o 250 x25 mm calentada a temperatura de termoformado por un calor radiante de sandwich y permitirse enfriarse y encogerse libremente.
- 2 características de cede de la lámina.
- 3 Uso del remolido (recorte). Determinar cuál es el aceptable para una aplicación particular. De ser posible no use más del 45% de remolido.
- 4 Tolerancias dimensionales.
 - a. tolerancias en las medidas de espesor
 - b. tolerancias para lo largo y lo ancho
 - c. tolerancia a la planicidad de la hoja (particularmente poliolefinas)
 - d. tolerancias fuera de escuadra
- 5 Impacto, caída de bala ("drop-ball"), Izod
- 6 nivel de humedad
- 7 partículas extrañas, aglomeración, contaminación, cuenta de gel
- 8 requerimientos del acabado superficial, grabado, liso, brillante, con cavidades, ondulado, aire atrapado, hinchazones, etc.
- 9 ópticas
- 10 cede a la tensión, compresión, dureza
- 11 índice de rotulamiento o flujo, viscosidad intrínseca
- 12 densidad
- 13 elongación
- 14 resistencia al desgarramiento
- 15 consideraciones de compresión
- 16 peso molecular
- 17 módulo de elasticidad
- 18 engorgamiento en molde
- 19 especificaciones y pruebas que deben ser llevadas a cabo ya sea en planta o por el vendedor
- 20 color, cargas
- 21 barrera protectora, permeabilidad WVTR, O₂
- 22 inflamabilidad
- 23 olor
- 24 empaque, tamaño del conjunto, peso del embalaje, envoltura de polietileno
- 25 eléctricas
- 26 módulo de tensión
- 27 módulo de tensión al calor a la temperatura de formado -si se conoce
- 28 temperatura de deflexión al calor
- 29 coeficiente de expansión lineal
- 30 factor K
- 31 abrasión
- 32 interpenetración
- 33 absorción de agua
- 34 coeficiente de fricción

moldes de aluminio con temperatura controlada. No existe regla en este requerimiento. Deben ser usados moldes con sistemas de enfriamiento ya sean hechos por fundición, ductos maquinados, placas o barras de enfriamiento. Moldes de resina epóxica, madera, poliéster, caucho y moldes hechos de otros materiales, deben ser usados únicamente para proyectos muy especiales y para corridas muy cortas. De otra manera, el costo y la calidad sufrirán deterioro considerable.

La temperatura apropiada del molde debe ser determinada y mantenida a lo largo de la corrida. Mientras más caliente esté el molde, más encogimiento tendrá la pieza final. También, mientras más caliente el molde (junto con la aplicación de un vacío rápido), serán menores los esfuerzos en la pieza terminada.

6 ENFRIAMIENTO DE LA PIEZA

Es ideal que el calor pueda ser eliminado de ambos lados de la pieza simultáneamente y del mismo modo. Ya que en la mayoría del termoformado se utilizan moldes de una sola cara, el tiempo de enfriado puede ser controlado exactamente del lado del molde. Para conseguir piezas consistentes, es importante utilizar el mismo método de enfriamiento de una pieza a otra, y el mismo tiempo sobre el molde, ya sea el método de aire ambiental, aire forzado, rocío de agua en spray o dióxido de carbón. Moldes cubiertos con politetrafluoroetileno, reducen el tiempo de enfriamiento de las piezas debido a las propiedades aislantes del PTFE. Para obtener piezas finales encogidas, fabricadas en materiales de alto encogimiento, tales como las poliolefinas, mientras se mantienen los ciclos óptimos de formado, puede ser necesario un enfriamiento posterior.

7 RECORTE

El recorte puede ser el "Waterloo" para los termoformadores. Las hojas o película deben ser sostenidas en posición mientras son calentadas y formadas. Así es como en la mayoría de las aplicaciones, el exceso u orillas deben ser recortadas de la pieza final. De ser posible, el desbaste debe ser diseñado en "un plano" para una eliminación más económica.

Recortar piezas que han sido termoformadas a la misma temperatura cada vez, ayuda enormemente a mantener las tolerancias dimensionales. En la línea de termoformado continuo, esto usualmente se hace en forma automática. Sin embargo, en el formado de láminas recortadas, el desbaste normalmente se realiza en etapa posterior. Cuando se requieren tolerancias precisas en la pieza final, es esencial que sean cortadas al mismo tiempo y misma temperatura, después de haber sido retirado del molde, o después de que haya ocurrido el encogimiento posterior.

La recolección y manejo apropiados del recorte es de gran importancia económica y debe ser tratado así. Un recorte limpio, no contaminado ni degradado, que no ha sido empolvado, resulta en mucho, una mejor lámina cuando es reciclada, dándole al extrusor mucho menos problemas y finalmente, al termoformador.

El recorte nunca debe ser llamado "scrap", a menos que vaya a ser tirado. Esto ayudará a todos a tomar consciencia del valor que tiene la manipulación correcta del recorte. Algunos de los términos correctos son, recorte, orilla, borde.

3.2 ALIMENTACION DEL MATERIAL

La termoformadora puede ser alimentada de material en rollo o de hojas cortadas, continua y directamente de la extrusora. Generalmente cuando es alimentada por la extrusora o de rollos el termoformado está limitado a hojas menores de .100" (2.54 mm) de espesor. Si se utilizan las hojas cortadas, el corte usualmente se realiza en la línea de extrusión a las dimensiones deseadas para una máquina y un molde en particular en espesores desde .030 a .450" (.76 a 11.4 mm) dependiendo de los requerimientos del diseño del acabado de la pieza.

También se pueden tener como láminas cortadas, lámina coextruída, película laminada y lámina con centro espumado. Algunos materiales coextruídos tienen una capa resistente a los rayos UV resultando en aplicaciones para exteriores. Películas laminadas son usadas para decoración y protección, como son: equipaje, mobiliario de oficina y para aplicaciones donde la resistencia a la abrasión es necesaria. Hojas con centro espumado son disponibles comercialmente pero son más difícil de termoformar y normalmente tienen una capacidad limitada de formados profundos. Las siguientes propiedades de la hoja, tienen una influencia significativa en la termoformabilidad y calidad en la pieza formada: 1) dimensiones (largo, ancho, espesor y planicidad); 2) tipo y color de la superficie; 3) orientación; 4) contaminación; 5) resistencia al impacto; 6) contenido de humedad. Algunas de estas propiedades son explicadas en detalle a continuación:

La **uniformidad del espesor** de la hoja se recomienda que sea $\pm 1.0\%$ o menos, en ambas direcciones, transversal y longitudinalmente -ésta última es la dirección de la extrusión-. Para una aplicación comercial de termoformado crítico, la uniformidad del espesor será requerida de 0.5%. Esto es a menudo necesario cuando el espesor de la hoja es menor de 2.54 mm (0.100"). Es difícil obtener esta tolerancia tan pequeña durante la extrusión pero los beneficios en éstos casos son importantes. El control apropiado del espesor de una hoja, como se menciona, se puede traducir en una mejor productividad, menor variación en el adelgazamiento del espesor y menos scrap.

Orientación (tensión interna)- durante la extrusión, una resina termoplástica puede ser estirada y causar que las moléculas del polímero se alinien más hacia la dirección del estirón, que en otras direcciones. Esto normalmente se da en la dirección de la extrusión y se describe como orientación uniaxial. La cantidad de orientación puede ser determinada colocando muestras del material en lámina en un horno, colocadas sobre hojas de aluminio rociadas con talco. La cantidad de encogimiento representa la cantidad de orientación. Un encogimiento del 10 al 15% en la

dirección de extrusión es normal, sin embargo menos de esto, sería más deseado. El encogimiento transversal es normalmente menor, 5% ó menos. Una gran cantidad de orientación causaría diferentes estirones durante el formado. Es mayor la resistencia al estirón en la dirección orientada que en la no orientada. Para hojas de espesor mayor a 4.44 mm (0.175"), una orientación alta (> 15%), pueden causar que la hoja se zafe de los clamps durante el calentamiento; para hojas menores, una orientación alta (> 25%) pueden causar el mismo fenómeno.

Resistencia al Impacto - la resistencia al impacto de una hoja tiene la cualidad de resistir a la ruptura cuando se golpea con algún objeto. La resistencia al impacto puede influenciar el desempeño de una pieza formada durante su ensamble, embarque o uso final. La resistencia al impacto es determinada más comúnmente, usando pruebas de caída de dardo. La resistencia al impacto de las hojas termoplásticas no es únicamente una función inherente a las propiedades de la resina virgen, sino también a la influencia combinada con las condiciones de extrusión, calidad superficial de la hoja y contenido de remolido.

Otras pruebas - las propiedades tales como esfuerzos de tensión al cede y ruptura, elongación a la ruptura y módulo de elasticidad pueden ser probados en muestras de hoja extruída o piezas moldeadas, por procedimientos ASTM (American Standard Test Method). Pruebas adicionales pueden ser de gran utilidad para el extrusor y el usuario de la hoja, y los métodos están disponibles a solicitud.

El **contenido de humedad y contaminación** en una hoja son causas frecuentes del rechazo de piezas termoformadas. Algunos materiales son higroscópicos, causando que la hoja absorba humedad al interior de ésta, así como en la superficie; esto puede causar defectos en la superficie durante el termoformado.

Es recomendable que hojas extruídas de este tipo (higroscópicas) sean envueltas en película de polietileno para minimizar la absorción de humedad. Esto también ayudará a protegerla superficie de contaminación y daños durante el manejo, almacenaje y embarque. Una película de 0.15 mm (.006") de espesor es recomendada para éstos materiales especialmente para prolongar el almacenamiento durante condiciones de humedad alta.

Las hojas extruídas algunas veces desarrollan carga eléctrica estática. Esta condición causa que la hoja atraiga polvo y partículas extrañas del entorno. Piezas termoformadas de hojas polvosas o sucias mostrarán defectos superficiales. Una cubierta o envoltura de polietileno debe usarse durante cualquier período de paro prolongado, vacaciones o fines de semana.

En muchos casos los problemas de contaminación y de humedad, afectan únicamente la parte de arriba y/o abajo de una pila de hojas. Estas láminas a menudo pueden ser usadas exitosamente simplemente volteándolas, usando el lado no expuesto.

Para mejorar la productividad en el termoformado y minimizar los problemas de apariencia

superficial en materiales higroscópicos, es recomendable precalentar la hoja antes de formarla. Las hojas son generalmente pre-calentadas, colocándolas en un horno de aire forzado; la hoja debe apilarse o colgarse para así proveerlas de circulación de aire alrededor de cada lámina.

3.3 SUJECION (CLAMPING)

Este es el primer paso en el proceso de termoformado. Se requiere que la alimentación de material continuo o las hojas cortadas, sean sujetadas firmemente en los marcos de formado. Aunque existe una gran variedad de mecanismos de sujeción, el requerimiento clave es sujetar la hoja plástica suficientemente fuerte para prevenir la liberación del marco de formado durante el calentamiento y el formado. Durante el calentamiento inicial de una hoja plástica, tensiones importantes se liberan en la hoja; este nivel de tensión, está relacionado directamente con la orientación de la extrusión. Se encuentran disponibles comercialmente sistemas de sujeción que son adecuados para sostener hojas de espesores gruesos [$> 4.44 \text{ mm (0.175")}$] y hojas de espesores delgados $< 4.44 \text{ mm}$ con orientación normal en la hoja, es decir, $< 15\%$ y $< 25\%$ respectivamente.

3.4 REQUERIMIENTOS DE CALENTAMIENTO

La temperatura y el vacío y/o aire comprimido son factores críticos en el proceso de formado. Cualquier variación de temperatura en la hoja caliente afecta drásticamente a la elasticidad o fuerza calorífica de los plásticos. Bajo condiciones normales, es esencial que la hoja del material sea calentada uniformemente por todas partes. Después, aplicar el vacío rápidamente, para tener una mejor distribución del material, ya que no tiene tiempo de enfriarse mientras es formada. Esto produce un mínimo de esfuerzos internos en la pieza y mejores propiedades físicas. Igualmente cuando la presión de formado es usada, y el material es movido aún más rápido que como lo haría el vacío sólo, la distribución del material será mejor y las piezas estarán aún más libres de tensiones. Existen excepciones para la aplicación de un vacío rápido, uno de ellos es el acrílico casting reticulado (acrílico de moldeo profundo) en formados muy profundos. Este material posee grandes propiedades térmicas, que permiten el uso de un vacío más lento. Sin embargo, en estos casos debe usarse un molde muy caliente.

Las características del producto terminado serán determinadas por el tipo de técnica de termoformado que se aplique.

- ♦ El material debe ser calentado uniformemente al punto de revenido y formado, antes de que se enfríe por debajo de su temperatura de moldeo.

- ◆ La pieza formada debe de enfriarse antes de darle cualquier acabado, como pintar por aspersión o serigrafía.
- ◆ En el diseño de la pieza debe tomarse en consideración encogimientos en ambas direcciones, aumentos en el espesor, así como contracciones al enfriar.

transferencia de calor. Aún cuando los científicos han dividido la transferencia de calor en tres fenómenos distintos: conducción, convección y radiación, ya en la práctica los tres son concurrentes.

conducción. Es la transferencia de calor de una parte de un cuerpo a otra del mismo cuerpo, o bien de un cuerpo a otro que está en contacto físico con él, sin desplazamiento apreciable de las partículas del cuerpo.

convección. Es la transferencia de calor de un punto a otro, dentro de un fluido, gas o líquido (mediante la mezcla de una porción de fluido con otra). En la convección natural, el movimiento del fluido se debe totalmente a diferencias de densidad como resultado de diferencias de temperatura. En la convección forzada, el movimiento se produce por medios mecánicos. Cuando la velocidad es relativamente baja, se debe entender que los factores de convección libre, tales como las diferencias de temperatura y densidad, pueden tener una influencia importante.

radiación. Es la transferencia de calor de un cuerpo a otro que no se encuentra en contacto con él, por medio del movimiento ondulatorio a través del espacio. Para propósitos del proceso de termoformado, se consideran tres medios para la transmisión de calor: contacto con un sólido, líquido o gas caliente; radiación infrarroja; excitación interna o por micro-ondas. Los dos primeros son muy empleados en el termoformado de plásticos, y para varios de ellos el rango de temperatura es entre 120 y 205°C.

propiedades térmicas de los plásticos. Los plásticos son pobres conductores de calor; por lo tanto, las láminas de espesores gruesos requieren un tiempo de calentamiento considerablemente largo.

El calentamiento de la hoja por ambos lados (de tipo sandwich) ayuda a disminuir el tiempo empleado en esta operación. En algunos casos, el tiempo de calentamiento puede ser reducido si la hoja es pre-calentada y mantenida en una temperatura intermedia, sin embargo, esto rara vez se emplea en materiales abajo de 6 mm de espesor.

Adicionalmente, la proporción de calor requerida para elevar la temperatura en los plásticos es alta, comparada con cualquier otro material; el agua es la excepción. Para estimar el calor requerido en una hoja, existe la siguiente fórmula:

propiedades térmicas de algunos materiales

MATERIALES	GRAVEDAD ESPECIFICA g/cm ³	CALOR ESPECIFICO Btu/lb*F	CALOR DE FUSION Btu/lb	CONDUCTIVIDAD TERMICA Btu ft/sq ft hr *F	COEFICIENTE TERMICO DE EXP. LINEAL 1/in *F 10 ⁻⁶
AIRE	0.0012	0.24		0.014	
AGUA	1	1	144	0.343	
HIELO	0.92	0.5	144	1.26	208
MADERA SUAVE	0.5	0.4		0.052	1.5
MADERA DURA	0.7	0.4		0.094	1.5
R. FENOLICAS	1.5	0.3		0.2	3-5
R. EPOXICAS	1.6-2.1	0.3		0.1-0.8	1.5-2.8
POLIETILENO AD	0.96	0.37	55	0.28	7
ACRILICO	1.19	0.35		0.108	3.5
POLICARBONATO	1.2	0.30		0.112	3.7
GRAFITO	1.5	0.20		87.0	0.44
VIDRIO	2.5	0.20		0.59	0.50
CUARZO	2.8	0.20		4 y 8	4 y 0.7
ALUMINIO	2.7	0.23	171	90.0	1.35
ACERO	7.8	0.10	171	27.0	0.84
COBRE	8.8	0.092	88	227.0	0.92

calor requerido = largo x ancho x espesor x densidad del material x (calor específico x diferencia de temperatura + calor de fusión)

medios de transmisión de calor. Para efectos prácticos vamos a dividir los medios de transmisión de calor:

calentamiento por contacto. El método más rápido de calentamiento, es colocar la hoja plástica íntimamente en contacto con una placa caliente de metal. Se usa especialmente para la producción en masa de artículos pequeños y delgados.

calentamiento por inmersión. Consiste en sumergir la hoja de plástico en algún líquido que transfiera el calor lo más uniforme posible y rápidamente; pero su uso está restringido al moldeo de partes con láminas muy grandes o muy gruesas, ya que la manipulación y la limpieza de la pieza es difícil.

calentamiento por convección. Los hornos con convección de aire son ampliamente usados porque proveen un calentamiento uniforme y pueden -en cierto grado- secar algunos materiales que contengan cierto porcentaje de humedad. Estos hornos proveen un gran margen de seguridad con respecto a las variaciones en tiempo de los ciclos de termoformado.

Nota importante: Todos los medios de calentamiento mencionados anteriormente, requieren un tiempo considerable de precalentamiento (de 20 a 60 minutos -dependiendo del equipo-).

En México, debido al alto costo de la energía eléctrica, es más común utilizar un horno de convección con recirculación forzada de aire por medio de gas; para lo cual es de gran utilidad una fórmula muy práctica para determinar el tiempo de permanencia de una lámina de acrílico, tomando en cuenta el rango de temperatura de revenido previamente ajustado.

$$\text{fórmula } 2.1 \times E \text{ (mm)} = T \text{ (minutos)}$$

en donde
2.1 = factor,

E = espesor del material en milímetros,
T = tiempo en minutos

Esta fórmula es aplicable a la lámina acrílica de espesor delgado (1 a 6 mm). Para espesores mayores, es necesario cambiar el factor, quedando así:

$$\text{fórmula } 3 \times E \text{ (mm)} = T \text{ (minutos)}$$

Y como se ha mencionado anteriormente, existen variables que pueden modificar estas fórmulas, tales como la temperatura ambiente donde se encuentra localizado el horno, la época del año (especialmente en climas extremos), la fluctuación en el espesor del material y las condiciones del equipo entre otras.

21

calentamiento por radiación infrarroja. Este método puede proporcionar calentamiento instantáneo y por lo tanto, sus ciclos de exposición son muy cortos, a veces basta con algunos segundos. Las principales fuentes que proporcionan este tipo de energía son lámparas de cuarzo que emiten en el visible y el cercano infrarrojo, y resitencias cerámicas o metálicas que emiten mayor energía y en el lejano infrarrojo.

La superficie de estos calentadores por radiación puede estar entre los 315 a 705°C. Debe observarse que a temperaturas más altas, la masa de la radiación ocurre a longitudes de onda más baja. En contraste, a temperaturas más bajas, la radiación se esparce sobre longitudes de onda mayores; y esto es sumamente importante, puesto que cada plástico absorbe radiación infrarroja en distintas regiones. Sólo la radiación absorbida se utiliza para calentar el plástico directamente.

calentamiento intemo. Este método no ha tenido suficiente aplicación en el termoformado, en virtud que el equipo es muy costoso. Además, no es aplicable a todos los termoplásticos y los tiempos de enfriamiento son demasiado largos, siendo aplicable a los procesos de formado donde se requiere calentamiento localizado en una zona específica del material, por ejemplo, el formado de cantos de material que tienen un alto factor de pérdida, como el PVC.

En ciertas aplicaciones, los productos termoformados presentan secciones de pared no uniformes, aún cuando la lámina ha sido uniformemente calentada. El encogimiento heterogéneo de la lámina se debe al propio diseño de la parte. En éstos casos especiales, controlando el calentamiento por secciones dará zonas de pared más uniformes. Este procedimiento se llama sombreado y consiste en colocar un filtro no flamable que regule el calor (una malla de alambre, asbesto) entre la lámina y la fuente de calor, con ésto disminuirá el flujo de calor hacia ciertas áreas del material y evitará excesivos estiramientos de esa zona.

En los equipos más sofisticados hoy en día, se tienen controles electrónicos y elementos de cerámica parabólicos que permiten calentar con variabilidad, diferentes zonas de la lámina.

temperaturas y ciclos de termoformado. El rango de temperaturas en el proceso, para algunos de los termoplásticos termoformables más populares son mostrados en la siguiente tabla. Los parámetros a continuación.

fijación de temperaturas y molde. La temperatura determinada es la temperatura en la que la hoja termoplástica es endurecida y desmoldeada con seguridad. Esto es generalmente la temperatura de deformación a 66 psi. Mientras más cerca esté la temperatura del molde a la temperatura determinada, sin excederla, menores serán los esfuerzos internos de la pieza. Si se presentaran encogimientos posteriores debido a un ciclo más rápido de tiempo, se podrá utilizar herramental

TEMPERATURAS EN EL PROCESO DE TERMOFORMADO / °C

MATERIAL	TEMPERATURA DEL MOLDE	LIMITE INFERIOR DEL PROCESO	TEMPERATURA DE ORIENTACION (cambio molecular)	TEMPERATURA NORMAL DE FORMADO	LIMITE SUPERIOR
ABS	85	126.7	137.8	148.9	182.2
ACETATO	71.1	126.7	137.8	154.4	182.2
ACRILICO	85	148.9	162.8	182.2	193.3
ACRILICO FORM. PROFUNDO	70-80	180		190	200
ACRILICO/PVC	79.4	143.3	154.4	171.1	182.2
BUTIRATO	79.4	126.7	135	146.1	182.2
FEP	148.9	232.2	254.4	287.7	326.6
POLICARBONATO	137.8	168.3	176.7	190.6	204.4
POLIESTER TERMOPLASTICO	76.7	121.1	135	148.9	165.6
POLIETERSULFONA	204.4	273.8	293.3	315.5	371.1
POLIETERSULFONA	210	279.4	293.3	343.3	382.2
REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO					
POLIETILENO AD	82.2	126.7	132.2	146.1	182.2
PROPIONATO	87.8	126.7	132.2	146.1	182.2
POLIPROPILENO	125	132.2	137.8	154.4-165.6	171.1
POLIPROPILENO	90.6	129.4	137.8	204.4 +	232.2
CON REFUERZO FIBRA DE VIDRIO					
POLISULFONA	162.8	190.6	212.8	246.1	301.6
POLIESTIRENO	85	126.7	135	148.9	182.2
VINILO RIGIDO	65.6	104.4	118.3	137.8-140.6	154.4
VINILO, ESPUMA RIGIDA	71.1	115.6	126.7	148.9	176.7

para un enfriamiento posterior y extraer la pieza más rápido.

límite inferior de procesamiento. Es la temperatura más baja posible de la hoja antes de su formado completo. Piezas formadas en este límite o por debajo de este, tendrán un incremento considerable de tensiones internas, que posteriormente causarán distorsiones, pérdidas de brillo, craqueo u otros cambios físicos en el producto terminado - otra razón para el vacío rápido o formado a presión. La menor cantidad de tensiones internas se obtiene usando un molde caliente, hoja caliente, y un vacío rápido y/o aire comprimido.

temperaturas de orientación molecular. Orientando biaxialmente la estructura molecular de láminas termoplásticas en un 275 a 300 % a estas temperaturas y después enfriándolas, mejoran enormemente las propiedades de impacto y de tensión. El cuidar el equilibrio entre calentamiento, rango de encogimiento, esfuerzos mecánicos y demás, es requerido para perfeccionar máximos resultados. Mientras se termoforma, es importante la buena sujeción de la hoja orientada; ésta es calentada, como siempre, hasta su adecuada temperatura de formado. Las altas temperaturas de formado no realinean la estructura molecular; entonces, la mejoría en las propiedades del material orientado se verán en la pieza final.

temperatura normal de formado. Es la temperatura donde el centro de la hoja (espesor) alcanza la temperatura adecuada de formado bajo circunstancias normales. Este valor es determinado calentando la hoja a su temperatura más alta -abajo de la temperatura de degradación-, a la cual la hoja aún conserva suficiente fuerza térmica para ser manipulada.

Termoformados de poca profundidad con ayuda de aire o vacío, permitirán manejar temperaturas un poco más bajas y se traduce en ciclos más cortos; pero, por otra parte, se requieren temperaturas elevadas para formados profundos o para operaciones de pre-estiramiento, detalles o radios intrincados.

límite superior. Es la temperatura en la que la hoja comienza a degradarse o descomponerse; así también, se toma demasiado fluida y no se puede manipular. Es crucial que la hoja se mantenga por debajo de esta temperatura. Si se está usando calor radiante, la temperatura superficial debe ser monitoreada cuidadosamente mientras que la temperatura del centro de la hoja alcanza la temperatura de formado.

Estos límites pueden sobrepasarse únicamente por tiempos cortos con un mínimo deterioro en las propiedades de la hoja.

determinación de la temperatura correcta en el material. Otro de los factores muy importantes en el proceso de termoformado, es la determinación de la temperatura correcta en el material plástico. Se debe considerar que, independientemente del método de transmisión de calor, la hoja debe ser calentada al rango de temperatura recomendado (rango de revenido); además de que la hoja deberá tener un calentamiento uniforme.

Ya en la práctica, no es fácil el establecer con precisión la temperatura de la hoja, inclusive con termómetros de contacto; por lo tanto, la determinación está basada en el comportamiento de la hoja. El cambio gradual en el cual la hoja cede durante el proceso de calentamiento (punto de revenido), es uno de los signos para establecer una temperatura adecuada.

Se han desarrollado algunos controles para equipos de termoformado por radiación infrarroja, donde la lámina es sujeta en posición horizontal, y que utilizan el fenómeno del "cede" o "pandeamiento" y controlan el tiempo y/o temperatura de calentamiento, por medio de células fotoeléctricas.

Sin embargo, este criterio no puede ser aplicado indiscriminadamente a todos los plásticos, ya que algunos materiales pueden sobrecalentarse antes de empezar a "ceder". Aún cuando se establece un rango de temperatura, puede no obtenerse el resultado que se espera como temperatura en la lámina; esto puede ser causado por:

- a) fluctuación en el espesor del material.
- b) cambios de temperatura del equipo y/o medio ambiente
- c) fluctuaciones mínimas en el voltaje de la línea (para equipo de calentamiento infrarrojo)
- d) probablemente el regulador del equipo de gas con circulación forzada de aire, no es el

adecuado, no existe la suficiente presión de gas; no es el quemador adecuado, o éste último está tapado con ollín, etcétera.

Existen pirómetros en forma de cono, tabillitas para calentamiento por radiación infraroja, o por gas (aire caliente), que pueden dar una medición más exacta. Aunque posiblemente, la mejor forma de medir la temperatura en la lámina es mediante una pistola infraroja, que la mide por zonas; aún cuando este equipo es costoso, es el único que mide con exactitud y confiabilidad la temperatura de la hoja.

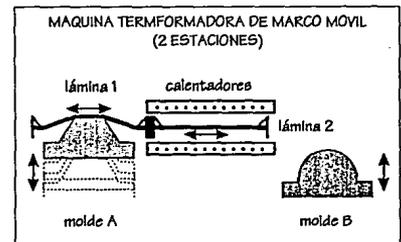
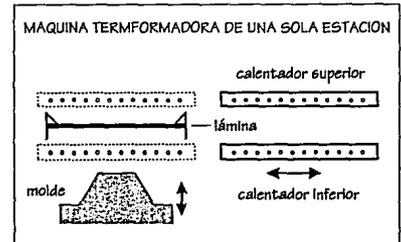
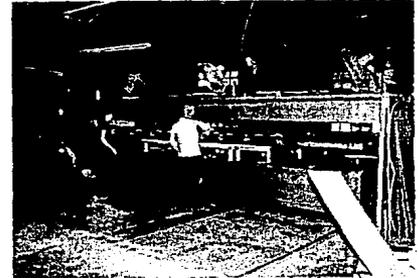
3.5 EQUIPO DE TERMOFORMADO

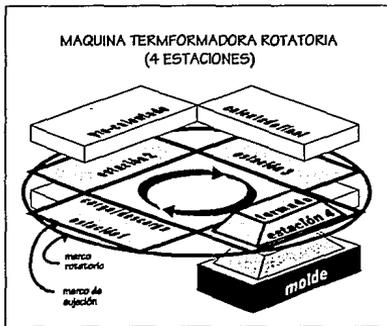
Los equipos para termoformado son categorizados normalmente en la manera de ser alimentados. Existen dos tipos básicos. Uno utiliza hojas pre-cortadas al tamaño; las otras utilizan material continuo alimentado de rollos o directamente de la línea de extrusión.

máquinas de alimentación de hojas. Las máquinas alimentadoras de hoja pueden ser subcategorizadas como 1) de una estación; 2) máquinas de marco móvil; 3) máquinas de estaciones -rotatorias.

1) *termoformadoras de una sólo estación.* Los pasos de sujeción de la hoja (clamping), calentamiento, formado, enfriado y desmoldeado en éste tipo de máquinas son hechas con la lámina en una sólo locación estacionaria. Una vez que la hoja es sujeta, permanece estacionaria. Los calentadores son deslizados por abajo y/o sobre la hoja para calentarla a su temperatura de formado. Después que los calentadores son retirados, el molde y/o el pistón son mecánicamente movidos hasta hacer contacto con la hoja caliente seguidos de un vacío y/o presión aplicada para formar la pieza. La pieza es enfriada en ese mismo lugar. El molde es regresado y la pieza desmoldada.

2) *termoformadora de marco móvil.* En una termoformadora de este tipo, la hoja es fijada en un marco movible localizado en el lado de los calentadores fijos. El marco con la hoja fija es mecánicamente movida al calentador o calentadores, cuando la hoja ha alcanzado su temperatura de formado, es movida de regreso a la estación inicial. Ahí, el molde es mecánicamente movido haciendo contacto con la hoja caliente y es formada y enfriada. Después que el molde es retraído, la pieza es desmoldada. Pueden existir 2 moldes, uno en cada lado de los calentadores, de tal manera, una hoja es calentada mientras la otra es formada, enfriada y desalojada. En este caso, 2 hojas han sido





25



movidas a un sólo tiempo aumentando la salida sobre una termoformadora de molde sencillo. Esto es realizado sin el costo de un segundo juego de calentadores.

3) *termoformadora de estaciones -rotatorias*. Estas termoformadoras son utilizadas para aplicaciones que requieren volúmenes altos de producción. Las máquinas de 3 y 4 estaciones son las más comúnmente usadas. Existen termoformadoras de 5 estaciones, pero es poco común. Los volúmenes de producción son aumentados porque hay 2, 3, 6 4 hojas en el proceso del formado al mismo tiempo. Una rotatoria de 3 estaciones tiene aproximadamente la misma salida que una de marco móvil con 2 moldes. Una termoformadora rotatoria de 2 estaciones de calentamiento (rotatorias de 4 ó 5 estaciones) operarán a unos volúmenes de producción significativamente altos. Generalmente los volúmenes de producción de una termoformadora de marco móvil y una rotatoria de 3 estaciones está limitada por el tiempo necesario para calentar la hoja hasta su temperatura de formado. Las termoformadoras rotatorias con 2 estaciones de calentamiento (4 y 5 estaciones) son diseñadas para que así la hoja sea pre-calentada en la estación de pre-calentamiento y subsecuentemente calentada a la temperatura de termoformado en la segunda estación de calentamiento. Esto divide el tiempo de calentamiento en dos juegos de calentadores separados. Con el diseño de este proceso, las termoformadoras con 2 estaciones de calentamiento regularmente tienen limitado el tiempo de enfriamiento en vez del de calentamiento; por ésto, el volumen de producción está limitado por el tiempo que tome la pieza para enfriarse después de formada y antes de ser retirada. Las termoformadoras de 5 estaciones no son comúnmente usadas, ya que son diseños de máquinas usadas para formar piezas grandes; la estación extra para retirar, provee más tiempo de enfriamiento.

El recortado de piezas formadas no está considerado como parte del equipo de termoformado; sin embargo, hay termoformadoras (si es de 5 estaciones) que tienen integrado un sistema de corte para eliminar bordes, ya sea en la estación de formado o en la de retiro. Las ventajas de desbastar en la termoformadora son 1) la pieza está aún caliente y es fácil de cortar y 2) las piezas, especialmente las largas, son más fáciles de manejar con los excesos recortados.

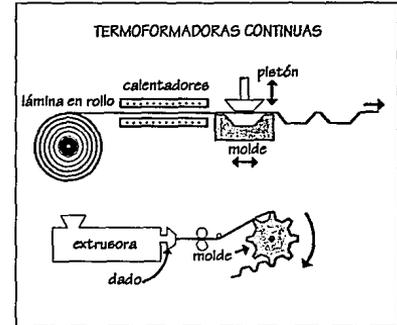
máquinas con alimentación en rollo. Las máquinas de alimentación continúa son también subdivididas en 1) máquina de línea recta, 2) máquinas de tambor, 3) máquina en línea (directo de la extrusora).

1) *máquinas en línea recta*. En éstas máquinas el material en rollo es alimentado continuamente y la sujeción se hace con una cadena transportadora. La lámina en rollo se mueve a través de un calentador que es normalmente tan grande como la siguiente estación de formado para permitir el tiempo suficiente de calor. La hoja caliente continúa su avance hacia la estación de formado hasta su salida. La lámina en rollo puede estarse moviendo por pasos o continuamente, si es continuo, la estación del molde/formado, debe estar sincronizada con

la velocidad de la salida del material. Este tipo de formado se utiliza en aplicaciones con espesores delgados tales como empaques (tazas, recipientes, contenedores). El recorte es normalmente parte de la operación y es hecho durante el paso de enfriamiento; el material en rollo es continuamente retirado de las piezas en este momento y el recorte vuelve a remolerse y de aquí a la extrusión.

2) *máquinas de tambor*. Este proceso es similar al anterior, la lámina en rollo se mueve a través de una rueda que gira, en lugar de viajar en línea recta; esta rueda gira hacia las estaciones de calentado, formado y enfriado. Este tipo de termoformadora ocupa mucho menos espacio que la de línea recta. Su servicio es regularmente más difícil.

3) *termoformadora en línea*. El proceso en esta máquina está diseñada para sacar ventaja a la hoja caliente de la extrusora; así, la lámina no requiere re-calentado. La hoja es transportada mecánicamente desde la salida de la extrusora a la estación de formado, normalmente hay una distancia extensa entre éstas para permitir a la hoja bajar a su temperatura de formado. El paso de formado debe estar sincronizado con la velocidad de salida de la extrusora. Este tipo de termoformado está limitado a hojas < 3 mm (0.125") y para aplicaciones donde no se requiera termoformado crítico, es decir, distribución óptima de material y tolerancias pequeñas. Este proceso es más difícil de controlar que otros. la desventaja más grande es el que la extrusora y la termoformadora están tan directamente relacionadas que cualquier problema en alguna, causa un paro en ambas.



EQUIPO COMPLEMENTARIO. equipos de vacío.

Existe una gran variedad de bombas de vacío: de pistón recíprocante, de diafragma, de paletas, de rotor excéntrico, etcétera. Todas éstas proporcionan un buen vacío, pero no son capaces de evacuar un volumen grande de aire a gran velocidad; por ésta razón es necesario conectar un tanque de reserva que sirva como un "acumulador de vacío". Por otra parte, hay compresores que pueden desplazar un gran volumen de aire pero son limitados en cuanto fuerza de vacío.

Bajo la mayoría de las condiciones, a mayor velocidad en el vacío y/o el aire comprimido, mejor será la pieza. El ciclo de tiempo también se mejora al entrar en contacto íntimo con el molde, resultando en un enfriamiento más eficiente, con mejores detalles y tolerancias.

Durante el proceso, la cantidad de vacío nunca debe caer por debajo de las 25" de Hg. Si la presión bajara a 20", la máquina deberá pararse y corregir el problema. Para altitudes arriba de los 609 m (2000 pies), deben ser usados 2 tanques de reserva con una válvula de presión entre ellos. Cuando el primer tanque caiga por debajo de la presión ajustada, éste es cerrado y la válvula accionará el segundo tanque.

PRESION ATMOSFERICA A DIFERENTES ALTITUDES		
ALTITUD pies	PRESION ABSOLUTA psia	MEDIDA pulg. de Hg.
nivel del mar	14.70	0
1000	14.20	1.0
2000	13.70	2.1
3000	13.20	3.1
4000	12.70	4.1
5000	12.20	5.0
6000	11.70	6.0

Un adecuado sistema de vacío requiere una bomba capaz de desplazar de 710 a 735 mm. de Hg. (28 a 29 Pulg. Hg. ó de 0.5 a 1 Psi absoluto) en el tanque de almacenamiento previo al ciclo de formado.

DEFINICIONES REFERENTES A LA PRESION.

Psig. Medida de presión en psi, es la cantidad por la cual la presión excede la presión atmosférica, negativa en el caso de un vacío.
Psia. Presión absoluta en psi, es medida con respecto a la presión cero (vacío absoluto = 29.92" Hg). En un sistema de vacío esto es igual a la medida de presión negativa sustraída de la presión atmosférica. De aquí:

$Psig + presión\ atmosférica = psia$;

1" Hg = 0.4912 psi de atmósfera en la parte; y 1 psi = 2.036" Hg.

especificaciones típicas para bombas de vacío

especificaciones			capacidad teórica de vacío				
no. de cilindros	diámetro (mm)	carrera (mm)	un paso (m³/min)	dos pasos (m³/min)	velocidad (rpm)	potencia requerida (Kw)	diámetro de salida de la tubería
1	76	70	0.255	-	800	0.56	19
2	76	70	0.510	0.255	800	0.74	25
2	102	70	0.906	0.453	800	1.48	32
2	127	80	1.70	0.850	750	2.2/3.7	38
2	140	102	2.80	1.40	900	3.7	52
3	140	102	4.22	2.80	900	5.6	52

27

MEDIDAS BASICAS DE PRESION DE VACIO			
PRESION psig	PRESION ABSOLUTA psia	MEDIDA pulg. de Hg.	PRESION NETA en la pieza psi
0	14.70	0	0
-4.00	10.70	8.14	4.00
-8.00	6.70	-16.30	8.00
-9.82	4.88	-20.00	9.82
-12.28	2.42	-25.00	-12.28
-14.24	0.46	-29.00	-14.24
-14.70	0	-29.92	-14.70

Reducciones de vacío y entrada libre de aire es lo que se espera a altitudes sobre el nivel del mar, porque a mayor altitud, la presión de vacío se reduce proporcionalmente a la presión absoluta. Aunque otras variables están involucradas, la tabla a la izquierda, puede usarse confiablemente para una ejecución aproximada. La velocidad de evacuación de aire también se reduce debido a la reducción de presiones.

La mayoría de las plantas manufactureras están entre los 152 y 304 m (500 y 1000 pies) de elevación; consecuentemente, una caída de vacío a 20" sería problemática. La presión de 9 psi (óptima) es suficiente para mover una lámina de plástico caliente, pero no suficientemente rápida para obtener las mejores propiedades físicas y distribución del material. Esto causará deficiencias tales como pandeo, baja en las propiedades físicas, carencia de detalles.

Para una ejecución óptima del sistema de vacío, todos los codos de 90° situados entre el tanque y el molde deben ser eliminados, donde sea necesario se deben utilizar mangueras flexibles de vacío y conexiones rectas donde sea posible. Cada ángulo de 90° desacelera el vacío un 30%. Cuando dicha conexión es inevitable, debe usarse uno de 45° ó un codo de 90° doblado con un radio amplio. Cuando el vacío es dividido, una conexión en "Y" es lo más recomendable. Cuando un vacío lento es requerido, es usada una válvula de apertura total de los tipos de bola o de globo. Una bomba de vacío con una capacidad mínima de 29" de Hg. y un almacenaje de vacío o tanque de reserva, es esencial para ejecutar vacío rápido y presión necesaria para un termoforado

apropiado. El o los tanques deben de tener un volúmen total de por lo menos 6 veces el desplazamiento cúbico que tiene que ser evacuado (para método de cálculo exacto se anexa tabla). Un tanque permite el uso de una bomba de vacío más pequeña con ciclos más largos de formado y pulsaciones de ciclos cortos "levels out". La localización del tanque debe estar físicamente lo más cerca posible de la estación de formado. La abrazadera de la manguera y los bordes de sellado de la plataforma del molde deben ser a prueba de vacío.

MIDIENDO EL LLENADO DE TANQUE DE VACÍO

Para computerizar correctamente el volúmen requerido, usar la siguiente fórmula:

$$V_o \times P_o + V_m \times P_m = V_i \times P_i \quad (1)$$

donde:

V_o = volúmen del llenado del tanque incluyendo el conducto de la válvula del control de vacío, pies³;

P_o = llenado de la presión del tanque en psia; usando 0.46 psia (equivalente a 29 pulg. de Hg. - a razón de la capacidad de la bomba de vacío);

V_m = volúmen del área del molde, pies³ (consumo por ciclo);

P_m = presión inicial en el molde, a nivel del mar 14.7 psi (atmosférica);

$V_i = V_o + V_m$; y

P_i = presión deseada de trabajo en psia.

ejemplo 1

supongamos:

V_m = volúmen del molde y conductos, 4 pies³

P_o = capacidad a razón de la bomba de vacío = 29 pulg. de Hg., entonces usar 0.46 psia iniciando la presión del llenado del tanque.

P_i = presión mínima de trabajo deseada en hoja caliente de 2.42 psia (25 pulg. de Hg); y

P_m = 14.7 psi presión inicial del molde (a nivel del mar).

sustituyendo la ecuación 1:

$$V_o \times 0.46 + 4 \times 14.7 = (V_o + 4) \times 2.42$$

$$V_o = 25.06 \text{ pies}^3 \text{ depósito requerido}$$

ejemplo 2

cuando es usada la técnica burbuja de pre-estiramiento de termoformado, la mayoría de los materiales requieren de sólo 2 a 4 psi (abajo de la presión atmosférica de 14.7 psi) para encogimiento. Sin embargo, materiales más fuertes al calor, como el acrílico, combinación de acrílicos y láminas reforzadas, demandan mayor presión. Para materiales estándar usar presión 17.7 psi; para acrílico 21.7 a 24.7 psi basandonos en una medida de 0.125 a 0.25. Espesores mayores requieren de mayor presión. Pregunten a los proveedores las presiones para láminas de fibra reforzada.

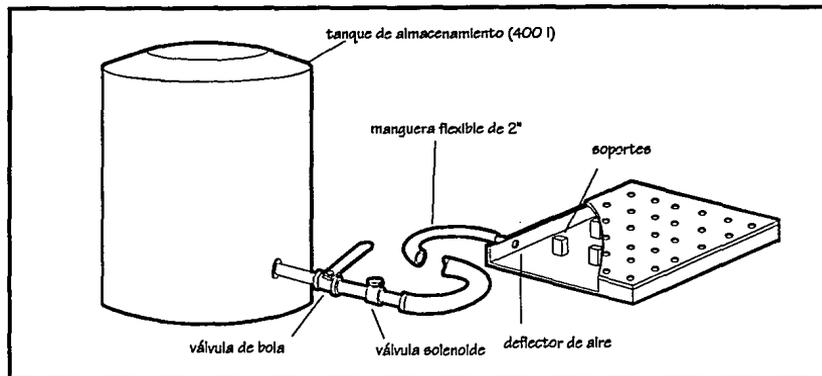
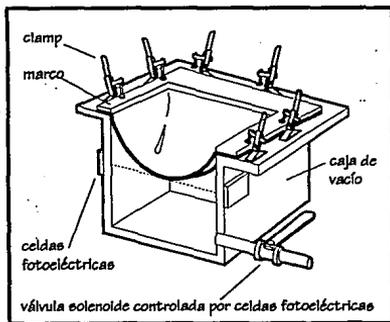
tomando: todas las variables como el ejemplo 1, excepto $P_m = 17.7$ psi presión inicial del molde para ABS, HIPS, etc., (si 1/8 en acrílico sería 21.7 psi)

sustituyendo la ecuación 1:

$$V_o \times 0.46 + 4 \times 17.7 = (V_o + 4) \times 2.42$$

$$V_o = 31.18 \text{ pies}^3 \text{ depósito requerido}$$

En plantas con sistemas centrales donde una fuente suministra todas las máquinas, cada termoformadora debe tener su propio tanque de vacío, y, si también utiliza formado a presión, su propio acumulador de aire. La línea de vacío y las válvulas de aire deben ser del tipo de acción rápida o de bola y los tamaños de acuerdo a las áreas de formado de las máquinas como se describe a continuación: hasta 76.2x91.44 cm (30x36"), una pulgada de diámetro; 91.44x121.92 cm (36 x 48") hasta 213.36x274.32 cm (84 x 108"), 3.81 cm (1.5") de diámetro; y 243.84x304.8



cm (96 x 120") y más, 5.08 cm (2 pulgadas) de diámetro.

Las bombas de vacío están disponibles en uno o dos pasos. Una bomba de vacío de dos pasos puede evacuar presiones abajo de 10 Psi; la capacidad de desplazamiento o evacuación para una bomba de un paso, se reduce a la mitad.

tanques de vacío. Con excepción de algunos equipos de vacío, la mayor parte son suministrados con un tanque de almacenamiento. Tomando en cuenta que la presión de trabajo es de aproximadamente 10 Psi (alrededor de 21 pulg. Hg./ 530 mm Hg.) de vacío, entonces el volumen del tanque de almacenamiento deberá ser 2.5 veces mayor al volumen comprendido entre el molde, la caja de vacío y la tubería. Doblando el volumen del tanque de almacenamiento (y con otras condiciones similares) se podrá incrementar la presión en un 15% (11.5 Psi), conforme a lo establecido, el límite teórico para el proceso de formado al vacío es de sólo 14.7 Psi.

Muchos equipos que se ofrecen en el mercado, transgreden estas reglas. En general, se requiere un diámetro de 1 pulg. en la tubería para desplazar 1 pie³ de aire, para piezas grandes un diámetro de 2 ó 3 pulg. será adecuado. Es recomendable también contar con una manguera flexible de plástico reforzada en su interior con un alma de alambre u otro material para que no permita que se colapse; esto es conveniente conectarlo entre el molde y la tubería.

aplicación de las fuerzas de vacío. En general las bombas operan constantemente para mantener el vacío en el tanque de almacenamiento, existiendo una variación en la lectura del vacuómetro con cada ciclo. El vacío que se provoca en la parte formada, debe ser mantenido el

tiempo suficiente para que se enfríe y resista la fuerza interna del material, que tenderá a conservar la forma original, causando ondulaciones y pandeo.

Ocasionalmente es conveniente una velocidad de formado lenta para piezas muy profundas o de secciones intrincadas. Cuando un molde hembra es muy profundo y donde la configuración se vuelve un problema, un vacío lento puede dar al plástico más tiempo para contraerse en la sección transversal, de este modo se puede eliminar una configuración deficiente.

FORMADO CON AIRE A PRESION.

En operaciones donde la fuerza de vacío es reemplazada por aire a presión, se debe considerar que es más difícil obtener un sello satisfactorio del molde. La fuerza de formado fácilmente puede multiplicarse hasta 10 veces si el aire a presión está a 100 Psi. Sin embargo pocas veces los moldes pueden resistir tal presión.

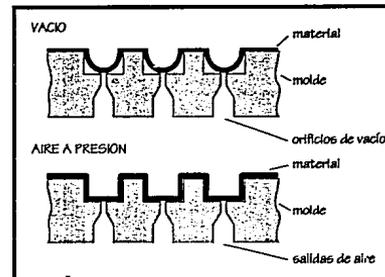
Para el formado con aire a presión, es necesario tomar todas las precauciones posibles. Un molde de tamaño regular requiere eventualmente una presión de cierre de algunas toneladas, que naturalmente una prensa común (tipo "C") no resiste, es conveniente entonces utilizar una serie de "clamps" o sujetadores de acción rápida que son muy apropiados para este uso. Un molde pobre en construcción con la presión que se ejerce, puede actuar como una bomba y explotar. Un molde de aluminio o metal maquinado es una buena selección, moldes hechos con madera o resinas no deberán usarse, a menos que se refuercen con metal.

El equipo de formado a presión debe ser más fuerte que el de formado al vacío. Igualmente deberá contar con tanque similar para el compresor. La tubería no requiere de especificaciones estrictas ya que la caída de presión es despreciable. Si en una tubería la caída de presión es de 5 Psi, la pérdida de presión en el sistema de vacío será de 10 Psi, el 50% de la presión, pero si el sistema de presión es de 100 Psi entonces será del 5%. Es conveniente también instalar una válvula de reducción de presión y un manómetro, así como un baffle o filtro a la entrada del molde, para que el aire frío nunca esté en contacto directo con la hoja caliente. Algunas veces será necesario incorporar calentadores al sistema de aire, que ayudará en grandes sopladores, que deberán permanecer calientes hasta que la pieza es eventualmente formada en el molde.

De ser posible, es también necesario contar con filtros para eliminar el agua que tiende a condensarse en el sistema y que a la larga puede corroer el equipo, adicional de que combinados con partículas del aire podrán tapan los orificios de venteo en los moldes. Un mantenimiento periódico del equipo es indispensable.

FORMADO MECANICO.

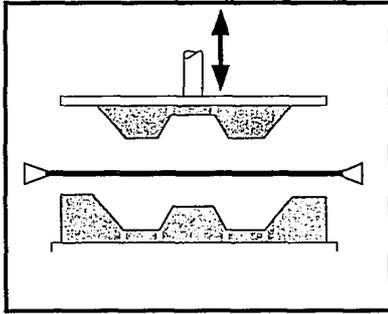
El proceso de termoformado no está limitado a las técnicas neumáticas, son varias las fuerzas mecánicas que se pueden aplicar. La forma más simple del formado mecánico es utilizado en el



El molde cuando así lo requiera deberá contar con orificios para venteo del aire atrapado, y así evitar arrugas, o formados deficientes.

El formado con presión de aire se ha vuelto popular sobre todo para piezas pequeñas. Las ventajas de este método son: mejoras en las tolerancias dimensionales, la velocidad de formado se puede incrementar considerablemente así como una mejor definición de los detalles finos.





formado bidimensional, en este caso la hoja calentada es acomodada sobre la superficie de un molde curvo, -que usualmente tiene una superficie suave- y la gravedad es suficiente para curvar la hoja, es necesario que el borde de la hoja sea sujetado para mantenerlo en posición hasta que la pieza enfríe. Este es el caso de la fabricación del arco cañón donde los extremos son firmemente sujetados y no hay variación en el espesor.

FORMADO MECANICO MOLDE MACHO - HEMBRA

El molde macho-hembra es usado entre otras cosas, para el formado de piezas complicadas. En esta técnica de moldeo, una hoja calentada es formada entre dos moldes opuestos entre sí pero con contornos similares (macho-hembra). Cuando los moldes se unen entre sí, los contornos forzarán a la hoja a tomar idéntica forma, entre el espacio creado entre los dos moldes. Cualquier protuberancia en el molde macho, mecánicamente forzará al plástico en la contraparte (molde hembra). Para una mediana o alta producción se utilizan equipos mecánicos para el cierre de los moldes, en otros casos el movimiento es producido por servomotores. Si ambos moldes tienen una temperatura controlada, se puede lograr una reducción en el tiempo de enfriamiento. Hay tres criterios básicos para tener un buen desempeño en el termoformado mediante esta técnica:

El primero consiste en que la fuerza aplicada, cualquiera que sea la fuente (neumática, hidráulica o mecánica) deberá tener la fuerza suficiente para inducir al plástico a deformarse, naturalmente una superficie muy grande o un molde muy intrincado requerirá una mayor fuerza de presión.

El segundo se refiere a un adecuado venteo del aire atrapado. La presión que se ejerce entre los moldes provoca que entre estos y la hoja, quede aire atrapado que deberá ser removido para una buena configuración de la pieza. Esto se puede lograr barrenando uno o los dos moldes en las zonas donde se detecta la anomalía.

El tercero está en relación a la profundidad límite de estiramiento, que es el resultado de las fuerzas empleadas en el proceso. Es fácilmente comprensible que un estiramiento máximo sólo tiene éxito cuando el molde tiene ángulos de salida mayores a los 5° y radios de curvatura muy grandes y suavizados, los ángulos muy cercanos a 90° pueden llegar a disminuir el estiramiento e inclusive rasgar el material plástico.

Este método sofisticado de termoformado no debe ser empleado en la totalidad de la configuración del molde, estando limitado su uso a sólo algunas partes del molde.

TECNICAS COMBINADAS.

El formado mecánico molde macho-hembra no depende solamente de las fuerzas que se empleen, usualmente este tipo de formado puede ser combinado con vacío, aire a presión o las

dos al mismo tiempo. Consecuentemente, el molde macho-hembra no tiene que ser o coincidir exactamente, el molde macho podrá ser relativamente inferior en dimensiones y substancialmente diferente en forma al molde hembra.

Cuando están hechos de esta forma pueden actuar como "empujadores" en la hoja plástica. Este tipo de asistencia se denomina ayuda mecánica o ayuda con pistón, porque presiona el material reblandecido en el molde hembra. El propósito de esta ayuda es el de pre-estirar el material para que la forma final sea lograda en combinación de vacío y/o presión de aire.

Usando ayudas mecánicas en el proceso, se obtiene la ventaja de una mejor distribución del espesor del material, sobre cualquier otro proceso. Con la combinación de estas técnicas se pueden obtener una multitud de variantes en el proceso. Dichas variantes pueden ser cambios en la presión de vacío, el tiempo de aplicación de vacío o presión, la velocidad de cierre de los moldes, o los ciclos de formado.

DISEÑO DE AYUDAS MECANICAS.

Usualmente las ayudas mecánicas se construyen en madera, sobre todo las maderas duras o tropicales. En algunos casos es posible incorporar postizos de otros materiales plásticos como nylon, poliuretano rígido, acrilamidas, aluminio o acero que son fácilmente maquinables.

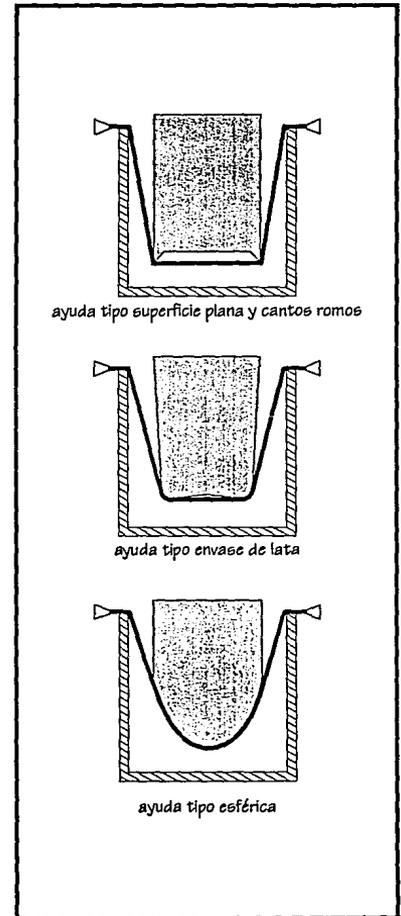
Es posible incorporar un sistema de enfriamiento y/o calentamiento en casos donde el volumen a producirlo requiera. La decisión de calentar y/o enfriar la ayuda, se debe tomar en cuenta desde el diseño, ya que posteriormente será muy difícil si no imposible el tratar de acondicionar un elemento calefactor, por este motivo deberán realizarse los maquinados necesarios para la incorporación del sistema.

Cuando la ayuda está muy fría, la hoja seguramente se enfriará sobre ésta. El enfriamiento suele ocurrir entre los puntos que comprenden la ayuda y la hoja y entre la hoja y el molde. En casos muy extremos, la hoja podrá encogerse sobre la ayuda durante el formado.

Si la ayuda mecánica está muy caliente la hoja se deslizará sobre el borde de la ayuda, en este caso la ayuda simplemente presionará sobre la hoja. Puede ocurrir un estiramiento en la hoja entre el área que comprende la ayuda y el borde del molde.

La forma de la ayuda va a tener una influencia determinante en la pared o espesor de la pieza final.

ayuda tipo superficial plana y cantos romos. Permite que la hoja tenga un estiramiento entre la ayuda y el borde del molde, y mientras tanto se presentará un enfriamiento de la hoja en la parte en contacto con la extremidad o borde de la ayuda. Una pieza formada por este método tendrá un fondo grueso y paredes delgadas.



ayuda tipo envase de lata. La hoja entra en contacto y se enfría rápidamente sólo en la pequeña zona perimetral de la ayuda; el estiramiento es similar al tipo de ayuda plana, pero la zona central en la ayuda permite un estiramiento adicional.

ayuda tipo esférica. Sólo una área pequeña entra en contacto con la ayuda; puede ocurrir que en este caso exista un estiramiento significativo mientras la ayuda avanza, por lo tanto el área perimetral entre el borde y la ayuda disminuirá.

3.6 TÉCNICAS DE TERMOFORMADO

El termoformado ha evolucionado a través de los años desde un simple proceso de dos pasos, calentamiento/vacío, a uno, que abarca un número de pasos sofisticados. Técnicas como la de pre-estirado en burbuja, ayuda de pistón, vacío con retorno y la asistencia de presión han sido agregados para mejorar la distribución del material, detallar la pieza y aumentar la productividad. A continuación mencionaremos las diferencias que existen entre el formado en molde macho y hembra, así como algunas técnicas especiales del proceso.

1. **formando en molde macho y hembra.** El termoformado se refiere a cualquiera de éstos dos términos, macho o hembra, y estamos hablando del método de estiramiento de una hoja sobre un molde. Los formados en molde macho son aquellos donde la hoja es formada "sobre" el molde y los formados en molde hembra, "dentro" del molde. Cualquier técnica que fuere, la pieza será formada ya sea "sobre" macho o "dentro" de molde hembra, y puede estar ya sea en la parte superior o en la inferior de la hoja durante el formado. Existen consideraciones importantes al escoger entre molde macho y hembra.
2. **distribución del material -macho=hembra.** Generalmente, se puede alcanzar la misma calidad en la distribución del material con cualquiera de los dos formados. De cualquier manera la anchura de los bordes y las variables del procesamiento serán diferentes y son descritas a continuación. Las secciones de las esquinas de las piezas son algunas veces más gruesas en formados en macho.
3. **aparición de la pieza -ventaja del hembra.** Generalmente el lado del material que está en contacto al molde, tendrá menor brillo. Cuando producimos piezas con superficies de bajo brillo o mate, éste factor no es importante. Si el lado de aparición de la pieza es el lado que hace contacto con el molde (macho o hembra), y ésta superficie es defectuosa o tiene polvo, afectará adversamente la calidad superficial de la pieza. Las marcas del molde, llamadas "marcas por enfriamiento" ("chill marks"), aparecen en la pieza formada en cualquiera de las

2 técnicas, éste es el resultado del contacto de la hoja caliente con el molde a diferentes tiempos y temperaturas durante el formado actual, éstas marcas son menores con el formado macho, y son minimizadas fácilmente con ajustes en la temperatura de la hoja y el molde. El formado en macho es preferido cuando se fabrican piezas de hojas grabadas o con relieves, cuando la textura no entra en contacto con el molde, ésta conserva mejor el detalle.

El formado con hembra es usado para piezas donde el lado visible no está en contacto con el molde y se desea un alto brillo. Sin embargo, muchos formados en hembra, de gran profundidad utilizan asistencia de pistón para mejorar la distribución del material; el pistón hace contacto con el interior (el lado visible), lo que resulta en marcas de pistón; éstas marcas por ayuda mecánica, al igual que las marcas de molde pueden ser minimizadas más no eliminadas.

4. **respondiendo a las variables del formado -ventajas del macho.** Existen más variables potenciales que afectan la calidad de la pieza en el formado hembra que en el formado macho. Cada pieza y molde tiene un balance de éstas variables mediante las cuales la calidad deseada de la pieza es perfeccionada; éste balance sólo puede ser determinado por la experimentación.

5. **costos de herramental -ventajas del hembra.** Los costos para molde macho son normalmente más altos que los del hembra, éste es porque los moldes macho requieren mayor costo en el control de temperatura, ángulos de salida más exactos para el desmoldeo de la pieza y los costos del terminado de las superficies para aumentar la apariencia, si el lado visible de la pieza tiene contacto con el molde. Además, los moldes macho son más susceptibles de dañarse durante el manejo en planta.

6. En todas éstas técnicas, la ayuda de presión puede ser agregada en el lado opuesto al vacío. La ayuda de presión mejorará los detalles de la pieza y permite formar la hoja a una temperatura más baja. Esta técnica es comúnmente usada en la industria del termoformado de empaques.

VARIABLES DE TERMOFORMADO	
MACHO	HEMBRA
<ul style="list-style-type: none"> • temperatura de molde • tamaño de burbuja para pre-estiramiento 	<ul style="list-style-type: none"> • temperatura de molde • tamaño de burbuja para pre-estiramiento • tamaño de la segunda burbuja para pre-estiramiento • temperatura del pistón • velocidad del pistón • cantidad de salida de vacío

TECNICAS DE TERMOFORMADO	
MACHO	HEMBRA
<ul style="list-style-type: none"> • sobre molde -vacío • vacío con retorno -vacío • burbuja de pre-estirado - presión con retorno - vacío • burbuja de pre-estirado - presión con retorno - vacío/presión • deslizamiento de aire -vacío 	<ul style="list-style-type: none"> • vacío directo • sobre molde -vacío • ayuda de pistón - vacío • ayuda de pistón -presión • burbuja de pre-estirado - ayuda de pistón - vacío/presión • hoja atrapada - contacto de calentamiento -presión

COMPARACION DEL TERMOFORMADO MACHO Vs. HEMBRA

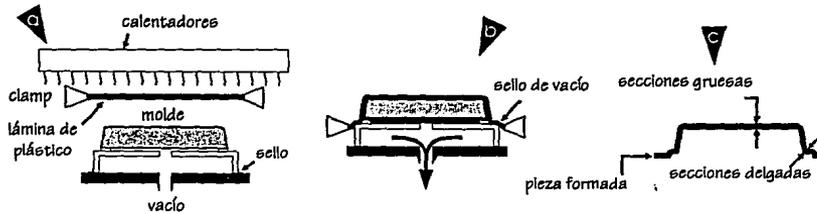
AREA DE COMPARACION	MOLDE MACHO	MOLDE HEMBRA
desmoldeo de la pieza	<ul style="list-style-type: none"> • las piezas se pueden pegar si la temperatura del molde está por debajo de 79.4°C (175°F) • las piezas pueden deformarse si la temperatura del molde está arriba de los 107.2°C (225°F) 	<ul style="list-style-type: none"> • problemas no serios
aparición de la pieza	<ul style="list-style-type: none"> • poco brillo • no hay marcas de molde en la superficie interior de la pieza • la contaminación en el molde o en la hoja causa defectos en la superficie de la pieza 	<ul style="list-style-type: none"> • mejor brillo • marcas de molde y pistón en la superficie interna de la pieza
distribución del material	<ul style="list-style-type: none"> • similar al molde hembra • las esquinas pueden ser de > espesor 	<ul style="list-style-type: none"> • similar al molde macho
respuesta a las variables de formado	<ul style="list-style-type: none"> • la altura de la burbuja de pre-estiramiento afecta la distribución del material 	<ul style="list-style-type: none"> • la altura de la burbuja de pre-estiramiento afecta la distribución del material • la temperatura del pistón afecta la distribución del material • la velocidad del pistón afecta la distribución del material • cantidad de salida del vacío afecta la distribución del material
costos	<ul style="list-style-type: none"> • el costo del herramental es más alto que el del hembra • debe ser diseñado para desmoldar la pieza efectivamente • el manejo de la pieza es más difícil 	<ul style="list-style-type: none"> • menos caro que el molde macho

descripción de las diferentes técnicas.

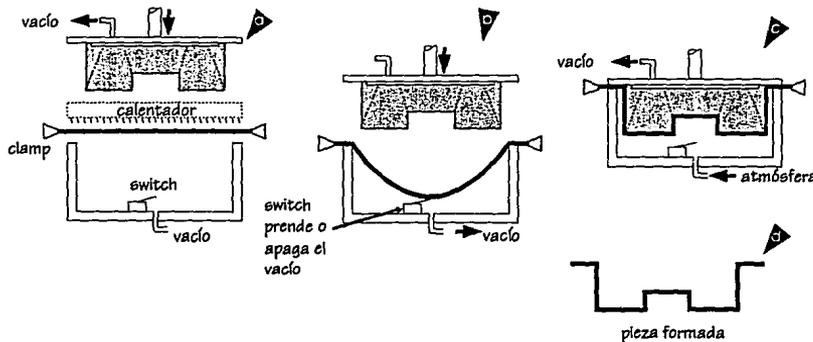
MOLDE MACHO.

formado sobre molde. La hoja plástica es sujeta y calentada (a), después es estirada sobre el molde o forzando el molde contra la hoja y creando un sellado (b), el vacío aplicado a través del molde fuerza a la hoja a conformarse sobre el molde macho. La hoja, al ser estirada sobre el molde y la zona que se mantiene en contacto con el molde, conserva casi el espesor original de la hoja. Las paredes laterales son formadas con el material estirado entre las aristas superiores del molde y el área de sellado inferior en la base. La distribución final del espesor de las paredes,

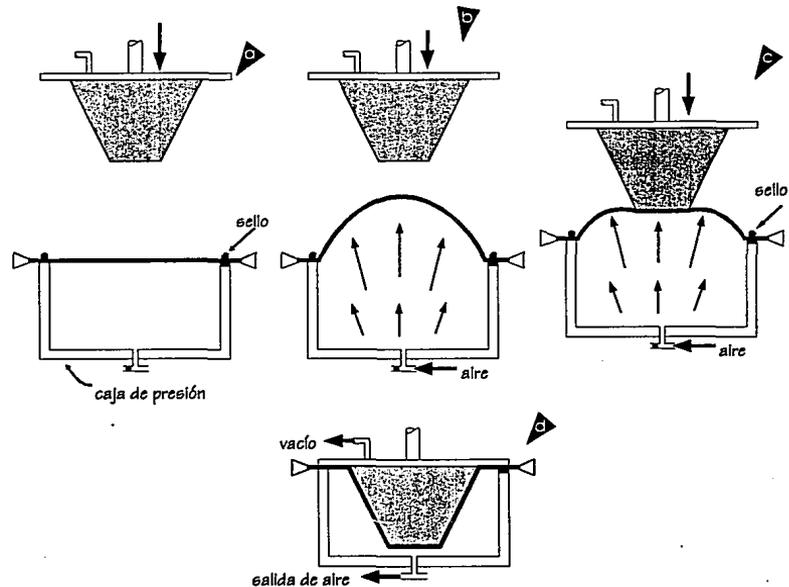
se muestra en el dibujo (c).



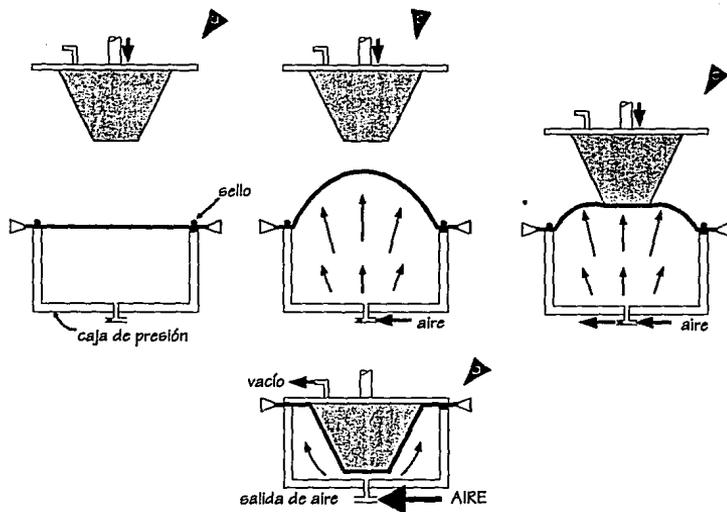
vacío con retorno-vacío. Después que la hoja de plástico es calentada y sellada sobre la parte superior de la caja hembra para vacío (a), un primer vacío es aplicado en la parte inferior de esta caja, jala al material plástico, dándonos una forma cóncava, ésta posteriormente puede ser controlada cerrando y abriendo el vacío con el fin de mantener constante dicha forma. Cuando el plástico ha sido pre-estirado, el molde, colocado en el pistón, penetra en la hoja (b) y un segundo vacío es aplicado a través del molde, el primer vacío es venteadado por la atmósfera o bien puede ser aplicada una ligera presión de aire. De este proceso pueden obtenerse estirones profundos en las partes externas para formados como equipaje, piezas para autos, etc..



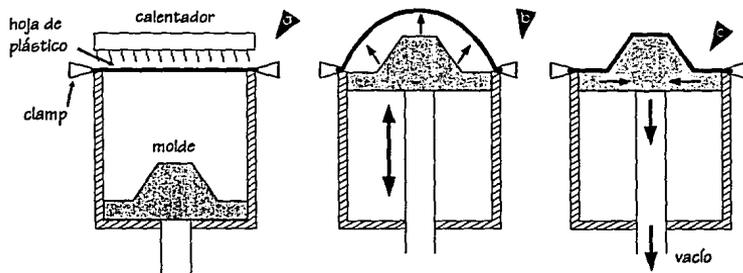
burbuja de pre-estirado - presión con retorno - vacío. Una vez que la hoja calentada está sujeta y sellada alrededor de la caja de presión (a) se aplica aire a presión controlado por debajo de la hoja, causando una gran burbuja a formar. La hoja se pre-estira cerca de 35 a 40%, cuando se ha logrado la altura deseada (b), un pistón es forzado dentro de la burbuja (c) mientras la presión de aire bajo la hoja permanece constante. Cuando el pistón macho cierra con la caja de presión, el vacío, a través del molde macho crea un jalón uniforme.



burbuja de pre-estirado - presión con retorno - vacío/presión. Este proceso es el mismo que el anterior pero se agrega -cuando el molde macho cierra con la caja de presión- una presión más alta de aire directo en la cara del plástico de la pieza, mientras el vacío es aplicado en el lado del molde.

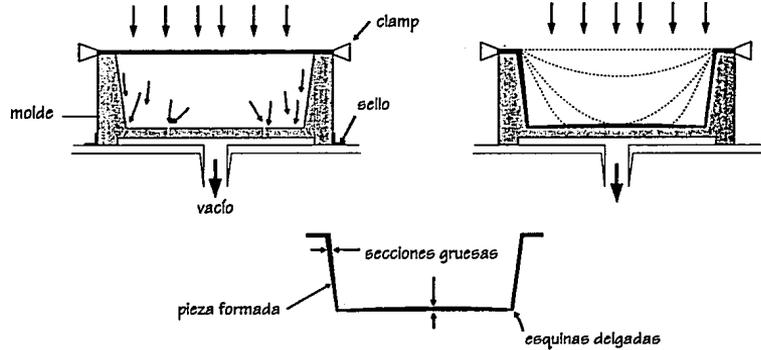


deslizamiento de aire - vacío. La hoja es sujeta en la parte superior de las paredes verticales de la cámara (a) y el pre-estiramiento se obtiene por una presión conseguida entre la hoja y la plataforma del molde mientras el molde va ascendiendo en la cámara (b). Complementando este deslizamiento de émbolo, el volumen de aire entre el molde y la hoja inflada es evacuado con vacío, formando la hoja pre-estirada alrededor del molde (c).

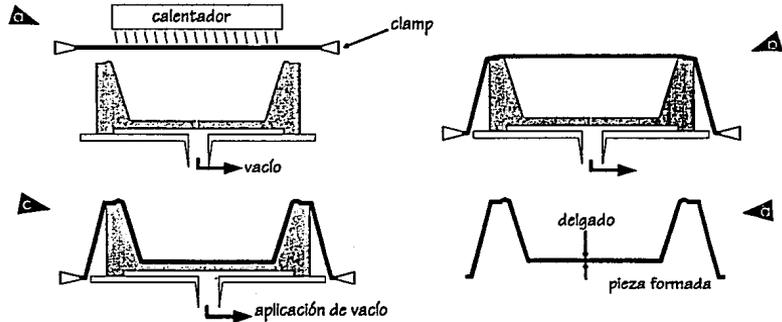


MOLDE HEMBRA.

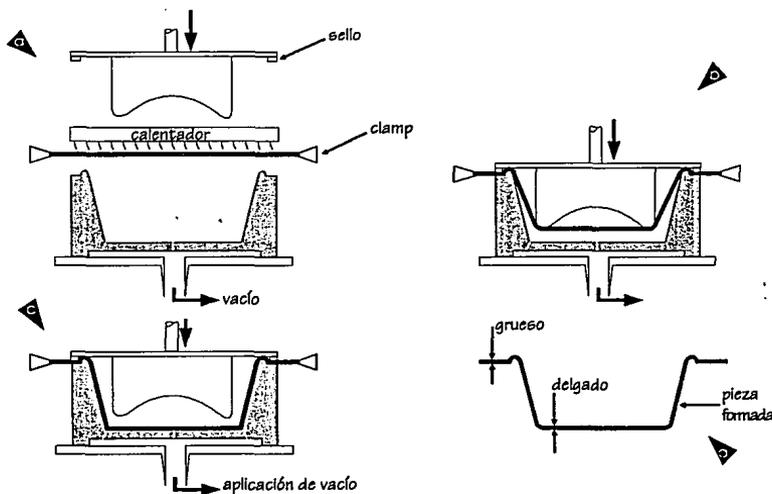
formado con vacío directo. La hoja de plástico es sujeta y calentada, un vacío por debajo de la hoja (a) causa entonces que la presión atmosférica empuje la hoja hacia abajo dentro del molde. Mientras el plástico va haciendo contacto con el molde, éste se va enfriando, por lo que las áreas de la hoja que tocan al molde al final, son las de espesor más delgado (c).



sobre molde-vacío. Este proceso es igual que el de formado al vacío directo pero la hoja caliente cubre hasta la base del molde y luego el vacío es activado.

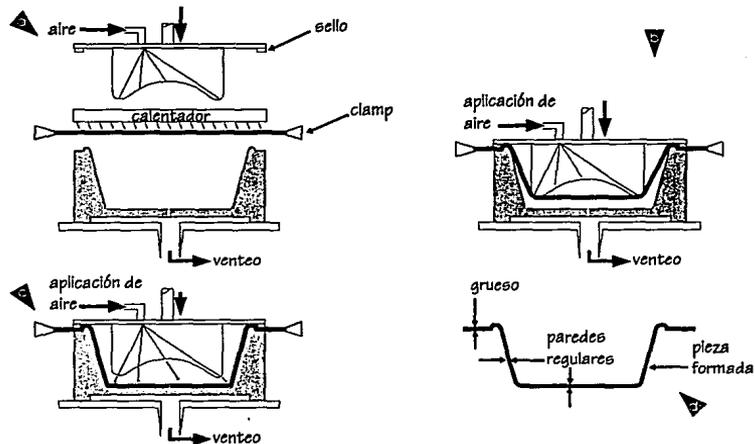


ayuda de pistón - vacío. Después de que la hoja ha sido calentada y sellada alrededor de la cavidad del molde (a), una ayuda áspera o rugosa, de la forma de la cavidad del molde, pero más pequeña, es empujada hacia la hoja y pre-estirada. Cuando la plataforma del pistón ha alcanzado su posición de cerrado (b), un vacío es aplicado en la cavidad del molde para completar el formado de la hoja. El espesor de las paredes puede ser variado cambiando la forma de la ayuda mecánica (c). Las áreas de la lámina que son tocadas primeramente por el pistón crean secciones más gruesas debido al efecto de enfriamiento repentino, como consecuencia, el diseño del pistón es un factor muy importante en determinar cómo se verá exactamente la geometría de la pieza formada producida por esta técnica.

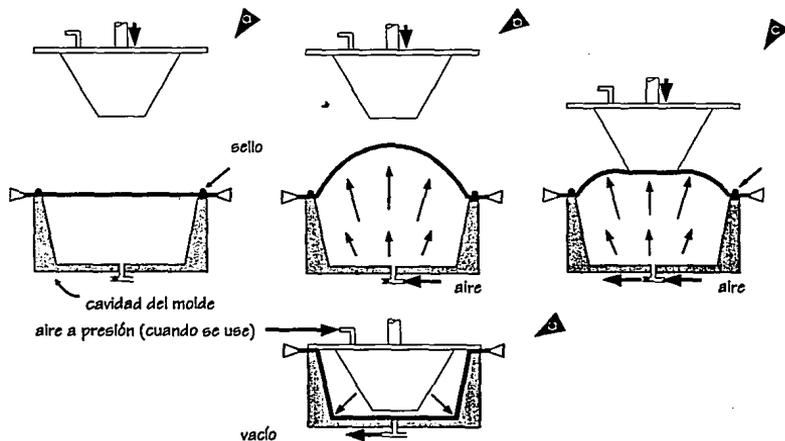


ayuda de pistón - presión. El formado con ayuda de pistón más presión es similar al formado con ayuda de pistón más vacío (a y b), excepto que mientras el pistón entra en la hoja, el aire debajo de ésta es venteadado a la atmósfera. Cuando el pistón completa su carrera y sella el molde, es aplicado aire a presión por un lado del pistón, el aire a presión puede entrar por el pistón o por atrás de este (c). Aquellas áreas que son tocadas primeramente por el aire, son enfriadas más pronto, por lo que en algunos casos es necesario aire caliente.

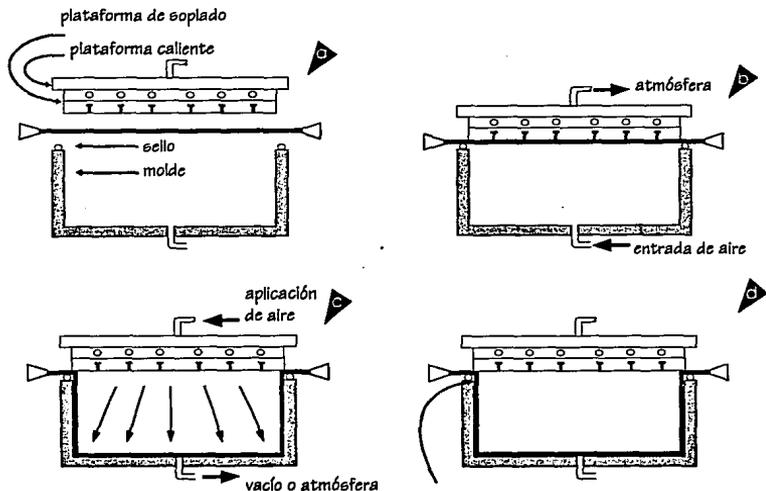
También son importantes las temperaturas de los pistones. Esta técnica puede ser controlada para producir distribución uniforme del material sobre la pieza completa (d).



burbuja de pre-estirado - ayuda de pistón - vacío/presión. Después de que la hoja plástica es calentada y sellada alrededor de la cavidad hembra (a), se introduce aire en la cavidad del molde e infla la hoja hacia arriba en un burbuja, estirándola uniformemente (b). Normalmente una fotocelda eléctrica es usada para controlar la altura de la burbuja. Un pistón ásperamente terminado, con la forma de la cavidad, penetra en la hoja plástica (c). Cuando el pistón ha alcanzado su posición más baja, un vacío es aplicado en la cavidad completando el formado de la hoja (d). En algunos casos, es también usado en este proceso, aire a presión de formado.



hoja atrapada - contacto de calentamiento-presión. La hoja plástica es colocada entre la cavidad del molde y una plancha de soplado caliente. La plancha (a), plana y porosa, permite que el aire sea soplado a través de ella. La cavidad del molde sella a la hoja contra la plancha caliente. Se aplica presión de aire desde el molde hembra, por debajo de la hoja, logrando que ésta quede en contacto total con la plancha caliente. Un vacío (b) también puede aplicarse en la plancha caliente. Después de un calentamiento predeterminado, la hoja de plástico está lista para formarse; la aplicación de aire a presión a través de la plancha caliente, forma la hoja dentro del molde hembra y se ventea por el lado opuesto. Pueden insertarse navajas de acero en el molde para, primero, lograr un mejor sellado y posteriormente, incrementando la presión de cerrado, poder lograr el recorte de la pieza.



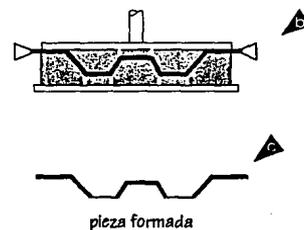
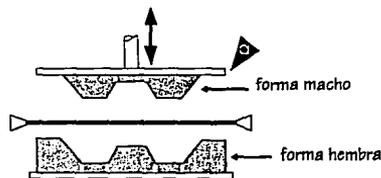
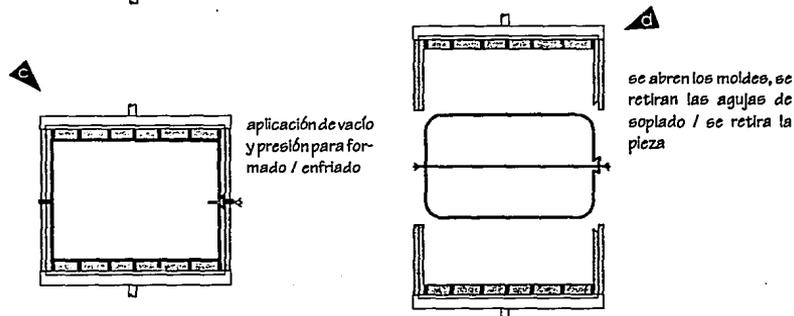
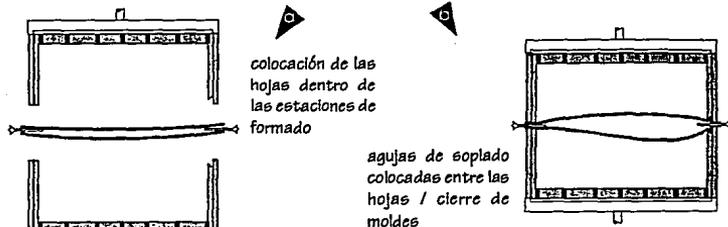
puede usarse cuchilla de acero para el sellado o un corte subsiguiente eí se ejerce mayor presión en este paso

OTRAS TECNICAS.

formado de hojas gemelas. El formado de hojas gemelas normalmente utiliza moldes hembra. Ambos, vacío y presión son usados en este tipo de formado y los pasos involucrados para producciones de objetos huecos, son: hojas espaciadas son alimentadas en medio de mitades de moldes abiertos; agujas de soplado entran y los moldes cierran; vacío y presión moldean las hojas a las paredes de los moldes; éstos se abren y se libera la pieza.

formado de fase sólida. Este proceso utiliza moldes que embonan para dar forma a la pieza. El vacío no es usado; la presión para formar las piezas proviene de las mitades del molde que son inducidas mecánicamente en vez de aire a presión. La hoja es calentada a una temperatura significativamente más baja que en el termoformado convencional.

El juego de moldes de madera, metal, yeso, epoxy, etc., pueden ser usados para presionar la hoja a tomar su forma. La hoja calentada puede ser sujeta sobre la cavidad hembra del juego de moldes (a). Conforme el molde va cerrando, la hoja se va formando (b). El venteo de molde es necesario para dejar escapar el aire atrapado. El espaciamiento entre el molde macho y cavidad hembra del molde, va a depender de las tolerancias requeridas en la pieza. Se puede obtener excelente reproducción del detalle del molde, así como la perfección dimensional a través de este proceso de termoformado, incluyendo rótulos y superficies texturizadas. La distribución del material en la pieza formada (c) dependerá del contorno de los 2 moldes.



3.7 ENFRIAMIENTO.

El paso de enfriamiento es usualmente el de tiempo controlado en el termoformado, y dependiendo de éste control será el encogimiento de la pieza. Esto se hace normalmente controlando la temperatura del molde incrementándose con aire forzado, rocío de agua o varios ventiladores de alto poder en el lado expuesto de la pieza.

Es importante encontrar la temperatura donde el material usado sea dimensionalmente estable, para prevenir daños en el momento del desmoldeo.

El espacio de tiempo entre el desmoldeo y momento de cortar, deben mantenerse constantes entre pieza y pieza para evitar errores dimensionales de corte, ya que el material en éste lapso continúa enfriándose.

3.8 DESMOLDEO.

El último paso en el proceso de termoformado es el proceso de desmoldeo. Después de que la pieza está suficientemente fría para ser dimensionalmente estable, es extraída del molde y marco, si la pieza ha encogido fuertemente alrededor del molde, una presión positiva de aire puede ser aplicada entre la pieza y el molde, ésto permitirá quitar la pieza más fácil.

44

3.9 CORTE DE PIEZAS.

Después de que el ciclo de formado ha terminado, las piezas normalmente deben ser cortadas para eliminar el material excedente, rara vez la pieza final no requiere del corte, como en el caso de anuncios luminosos.

Es importante seleccionar el equipo y la técnica adecuada, de cualquier manera existen algunos factores que determinan dicha selección; éstos pueden ser medida de la hoja, tamaño de la pieza, profundidad, el nivel aceptable de aspereza de la superficie del corte, formas intrincadas, tolerancias dimensionales y la velocidad de corte entre otros.

equipo de corte

Existen actualmente varios equipos para el corte de piezas termoformadas, dividiéndolos en tres grupos: herramientas eléctricas, equipo automático y suajado.

herramientas eléctricas.

La sierra circular. Deberá tener dientes rectos para favorecer el enfriamiento y no reblandecer el material. Los dientes de carburo de tungsteno brindan un corte excelente y mayor duración entre afiladas. La alimentación de corte debe ser lenta para evitar el calentamiento o estrellamiento de material, asegurándose que haya desarrollado la máxima velocidad. Mientras mayor sea el espesor del material que se va a cortar, mayor deberá ser el diámetro de la sierra y menor el número de dientes por centímetro (mínimo 2 dientes). Cuando se utilice una sierra circular de mano, es necesario sujetar firmemente la lámina, y alimentar con presión y velocidad uniformes para evitar estrellamientos.

La sierra cinta. Es el equipo indicado para hacer curvos en hojas planas y para refilitear piezas formadas. Es recomendable el uso de sierra con velocidad variable hasta 5000 pies/min. y con una profundidad de garganta mínimo de 10°. Es conveniente utilizar una cinta para cortar metal o las especiales para plásticos, también es necesario ajustar la guía lo más cercano al material para evitar estrellamientos en la línea de corte y reducir al mínimo la vibración en la sierra.

El router. Es una herramienta muy versátil ya que se pueden realizar cortes sumamente uniformes, rectos, curvos, perforaciones de pequeño y gran tamaño; utilizando guías o brocas con balero se pueden hacer cortes con escantillón o plantilla, además de poder utilizarse en forma fija o manual. Se recomienda utilizar un router eléctrico mínimo de 1.5 HP de 20,000 a 30,000 rpm, procurando usar brocas o cortadores con pastillas de carburo de tungsteno y con un diámetro de 1/4 ó 3/8" e idealmente de 1/2" para evitar que la vibración producida por la alta velocidad rompa la broca. Eventualmente a una sierra circular o router se le puede cambiar la herramienta de corte por un disco abrasivo normal, o inclusive de diamante; este tipo de disco es conveniente utilizarlo cuando el termoplástico formado sea reforzado con fibra de vidrio.

equipos automáticos.

El siguiente grupo de equipos de corte se utilizan cuando se requiere un alto nivel de automatización, generalmente este equipo integra un sistema de computo y programas especializados como CAD-CAM-CAE, donde el patrón de corte es diseñado en el programa y posteriormente enviada la información al periférico que en este caso pueden ser routers de 1 a 5 cabezales o sistema de agua a presión o laser. La capacidad de corte no está limitado a una dirección o plano, de ahí que prácticamente se pueda realizar cualquier tipo de corte o perforación.

corte con agua a presión. El sistema abrasivo de corte con agua a presión elimina muchos de los problemas asociados con la maquinaria y operaciones de corte convencional. Concentrando un chorro muy fino de agua a presión, 50,000 psi, a una velocidad aproximada de 3 m/min y con una precisión de ± 1 mm. Usando una combinación de agua altamente presurizada y materiales abrasivos como polvo de sílice, el chorro con agua puede cortar todos los materiales

sin producir calentamiento y dejando un excepcional acabado en la superficie de corte. Las ventajas que ofrece este sistema en algunos materiales (como el acrílico), son, la eliminación de distorsión por calentamiento, el realizar cualquier ángulo de corte por su tipo multidireccional integrado a sistemas computarizados, el eliminar operaciones secundarias como lijado, y la reducción de material de desperdicio por tener un área de corte muy reducida.

corte con laser. El corte con laser es una técnica ya usada por algunos sectores industriales desde hace varios años y tiene como características principales:

- alta precisión de corte
- flexibilidad de manufactura
- reducción de costos

Una ventaja más que ofrece el sistema de corte con laser, es la versatilidad de aplicación en muchos materiales.

Con el dispositivo laser es posible cortar, soldar y desbastar superficies hasta de 30 mm de espesor, debido a que la energía laser se concentra en un sólo punto y la generación de calor se puede limitar a una zona mínima con lo cual no se obtiene deformación por calor ni cambios estructurales en el material. Se obtienen también cortes finos con cantos precisos, lo cual es muy recomendable para piezas de acrílico con formas muy intrincadas. Se pueden efectuar barrenos desde 0.1 mm de diámetro con una velocidad de hasta 150,000 perforaciones por hora. Un equipo laser podrá cortar hasta 1/2 pulgada de acrílico a una velocidad de 30 cm/min..

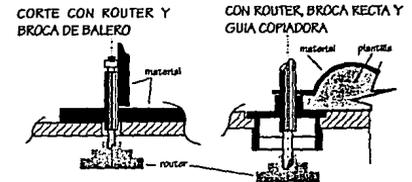
suajado.

Esta técnica no es muy empleada debido a que presenta limitaciones, dependiendo de las características de cada material; por lo general este proceso se utiliza cuando el material termoplástico aún se encuentra caliente y en espesores delgados, siendo recomendable también, que las cuchillas estén a una temperatura entre 40 y 60°C. Aún así la calidad de corte no es muy buena, esta técnica de corte funciona mejor en plásticos como acetato, poliestireno, pvc espumado, etc..

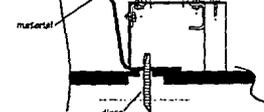
técnicas de corte.

Aunque existan técnicas no convencionales de corte y de alto grado de automatización, su aplicación práctica está lejos de verse, debido al alto costo de inversión y mantenimiento contra las técnicas tradicionales como el corte con sierra circular y router.

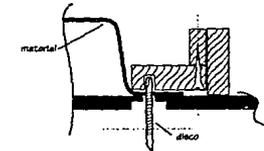
En las ilustraciones se muestran varias alternativas para el corte de piezas termoformadas. Siempre que sea posible es conveniente construir una plantilla de corte como soporte de la pieza termoformada, de ésta forma se evitarán variaciones en la pieza y se estandarizará la producción total. Estos soportes o plantillas de corte pueden ser fabricadas en materiales como madera, resina reforzada con fibra de vidrio, acrílico con insertos metálicos, aluminio, etc..



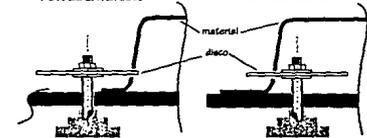
CORTE CON SIERRA DE BANCO Y TOPE DE FIERRO O ALUMINIO



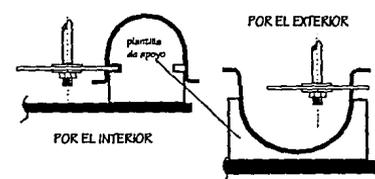
SIERRA DE BANCO Y TOPE DE MADERA



ROUTER Y CORTADOR DE GALLETA O DISCO ABRASIVO POR EL EXTERIOR POR EL INTERIOR



CORTE CON SIERRA RADIAL Y PLANTILLA



4

M O L D E S

4.1 DISEÑO DE LA PIEZA.

parámetros de diseño.

La pieza diseñada depende de una serie de parámetros que incluyen los requerimientos del producto final, capacidades del equipo y características del material. Los parámetros clave se enlistan a continuación:

requerimientos del producto final.

- a. tamaño - largo, ancho y profundidad;
- b. peso;
- c. uniformidad del espesor, distribución total del material, cambios en medidas deseados -de grueso a delgado o viceversa-
- d. aberturas -profundidad de estiramiento, cavidades;
- e. factores de forma -curvaturas, esquinas, relieves;
- f. ajuste para ensambles -tales como juegos de piezas;
- g. ángulos de salida
- h. ángulos negativos
- i. detalle de la superficie -textura, acabado brillante o mate, diseños, textos;
- j. pre-impresión
- k. propiedades ópticas -claridad, translucidez, opacidad

capacidades de proceso o equipo.

- a. tamaño de bastidores de los sujetadores "clamps";
- b. espacio para retirar la pieza formada;
- c. vacío y/o presión disponible
- d. capacidad y control de calentamiento;
- e. velocidad y fuerza del pistón;
- f. capacidad del manejo de la pieza.

características de la resina (relativo al procesamiento del termoformado, más que al precio y aplicación de uso final)

- a. propiedades moleculares del polímero -fuerza al reblandecimiento, extensibilidad;
- b. módulo de elasticidad y elongación a la tensión
- c. tendencia al pandeo, coeficiente de expansión lineal;
- d. tiempo dispuesto, temperatura de deflexión bajo carga y tendencia a marcas por enfriamiento;
- e. calor específico y coeficiente de transmisión de calor;
- f. uniformidad -proporción de remolido y calidad;
- g. sensibilidad al calor -tendencia a la degradación si se sobrecalienta;
- h. capacidad de secado de la hoja.

factores en el diseño de la pieza.

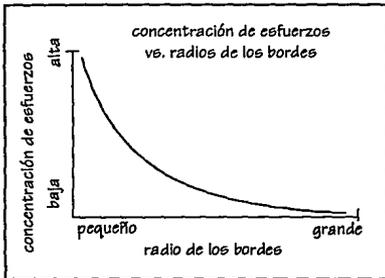
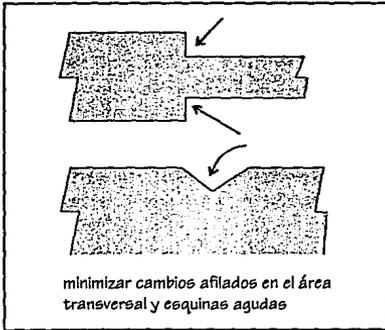
El diseño de un producto a menudo determinará qué técnica de termoformado deberá usarse. Algunos de los factores más significativos concernientes en primer término con la pieza y algunos diseños de moldes son discutidos en esta sección.

1. **La profundidad de estiramiento (depth of draw).** La profundidad de estiramiento es la relación que existe entre el promedio del espesor de la hoja y el promedio del espesor de la pieza. La profundidad que un material termoplástico alcanza al ser estirado, es un factor importante en la determinación de la mejor técnica para el termoformado. La profundidad del estirón es el primer factor que controla el porcentaje del espesor final de la pieza formada. Para profundidades de estirón moderadas (< 1:1) formando sobre molde macho, resultarán paredes con espesores más uniformes que formando con vacío directo en molde hembra. Para estiramientos muy profundos o con relaciones de profundidad-anchura que excedan 1:1, se sugiere la ayuda con pistón formando en molde hembra para obtener la distribución del material más uniforme. El uso de burbuja para dar un pre-estiramiento puede extender la relación para una técnica dada.

profundidad de estirón		
técnica de termoformado	tipo de molde	relación profundidad / ancho
vacío directo vacío "sobre" vacío con pistón de ayuda	hembra macho hembra	< 1/2 : 1 < 1 : 1 > 1 : 1

48

2. **Reproduciendo detalles.** Para reproducir detalle en la pieza se pueden obtener resultados iguales con ambos métodos, vacío directo en molde hembra y sobre molde macho. Puesto que la superficie de la hoja que está en contacto íntimo con el molde recibe la impresión más detallada, es el diseño de la pieza la que determina la técnica a usar. Como una regla de cajón el método sobre molde macho debe ser usado para detalle interno y el método de vacío directo sobre molde hembra para detalle externo. De cualquier manera, es importante recordar que el grado de brillantez producido en superficies tersas depende de las propiedades del material plástico usado y no es usualmente dado por la superficie del molde. Una superficie del molde deficiente puede hechar a perder o rebajar la calidad del terminado superficial de la pieza que se ha formado.



3. **costillas.** Otra consideración importante de diseño es el formado de costillas en las piezas formadas. Las costillas pueden ser dispuestas para aumentar rigidez a la pieza así como realzar la estética del diseño mismo. Con una apropiada colocación de nervaduras, hojas de espesores delgados pueden ser usadas ventajosamente para un amplio rango de aplicaciones que requieren rigidez, así, ésto nos lleva a reducciones de costo de material y en los ciclos de calentamiento.
4. **bordes.** Para producir formados de máxima solidez y duraderos, es necesario utilizar radios adecuados en los bordes. El radio debe ser por lo menos igual al espesor de la lámina y nunca menor de .79 mm (1/32").
5. **Concentración de esfuerzos.** La falta de bordes adecuados resultará en concentraciones excesivas de esfuerzos mecánicos. La experiencia ingenieril ha demostrado que la vida útil y la robustez estructural de una pieza puede ser sólo el 30% de diseño, cuando el factor de concentración de esfuerzos es alto.
En una pieza estructural que tenga cualquier tipo de ranura o acanaladura o cualquier cambio abrupto en la sección transversal, el esfuerzo máximo ocurrirá inmediatamente en estas zonas. Será más alto que el esfuerzo calculado en una simple suposición de distribución de esfuerzos. La relación de este máximo esfuerzo al esfuerzo nominal basado en la distribución simple de esfuerzos es el factor de concentración "K" para una forma particular. Es una constante, independientemente del material, excepto para materiales no isotrópicos tales como la madera:

$$K = \frac{\text{esfuerzo (máximo)}}{\text{esfuerzo (nominal)}}$$

Así puede mostrarse que el máximo (o actual) esfuerzo en una pieza dada bajo carga es mayor que el esfuerzo nominal (o calculada) por un factor "K". Para muchas piezas sencillas de sección plana sin bordes, el valor de "K" puede ser tan alto como 3.0 bajo cargas de doblez.

6. **Localización de calentamiento del molde.** Este tipo de calentamiento permite mayor control de la distribución del material en la pieza. Puede ser llevado a cabo insertando calentadores eléctricos del tipo cartucho. Esta técnica es más efectiva en moldes metálicos que en los no metálicos, gracias a la mejor conductividad térmica. La temperatura más alta de esta sección del molde permitirá a la hoja termoplástica continuar con el estiramiento sin enfriarse. Una posición típica para colocar el calentamiento deberá ser a la mitad del radio en la parte superior del molde.

7. **Encogimiento.** El encogimiento es el factor vital en formados grandes de precisión y las tolerancias deberán hacerse en la pieza diseñada tomando las consideraciones para formado al vacío. El encogimiento toma lugar en tres formas básicas.

a. encogimiento en molde.

cuando un material termoplástico es calentado y formado en un molde, el encogimiento de material ocurre durante el ciclo de enfriamiento. Las dimensiones de la parte formada, después que su superficie alcanzó una temperatura en la cual puede ser desmoldada, es ligeramente menor que las dimensiones cuando recién se formó. La diferencia es llamada encogimiento en molde; normalmente es expresada en términos de "pulgada por pulgada por °F" y varía por factores de proceso y diseño así como con diferentes materiales.

La experiencia indica que el encogimiento en relación con las dimensiones de la pieza final es menos crítica con el formado sobre molde macho. Esto se debe al hecho de que mientras se enfría el material encoge sobre el molde rígido, ésto retrasa la acción de encogimiento. A pesar de que este fenómeno mejora las dimensiones finales de la pieza, se requieren moldes con ángulos de salida apropiados para así extraer la pieza del molde. Recíprocamente en el formado con vacío directo en molde hembra, el material encoge desde el molde contra la poca considerable resistencia del aire exterior.

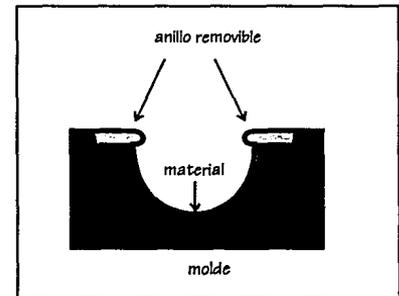
b. encogimiento después del molde.

Después de desmoldar, la parte se encogerá por la pérdida de calor de la temperatura de desmoldeo a la temperatura del cuarto. La pieza caliente continúa encogiéndose mientras el calor central del plástico se enfría. El encogimiento cesa cuando la temperatura "equilibrio" es alcanzada en el material enfriado.

c. encogimiento y expansión en servicio.

Esta es la expansión o contracción normal en las dimensiones de un objeto que resultará de los cambios en temperatura y humedad. Esto es considerado un factor significativo sólo donde las tolerancias son extremadamente críticas o donde el plástico formado es fuertemente sujetado a un material con marcadas diferencias en el coeficiente de expansión. Cada tipo de material termoplástico tiene un coeficiente térmico de expansión o contracción diferente.

8. **Ángulos negativos.** Las secciones con ángulos negativos pueden ser formadas con el uso de secciones removibles del molde, secciones excéntricas y por piezas sueltas en el molde.
9. **Insertos.** En algunos diseños es deseable formar con ángulos negativos y/o reforzar la unidad formada en algunas partes. En este caso, el inserto, generalmente una barra o tira de metal es colocada alrededor. La sección metálica se vuelve una parte integral en el molde. Esto se usa frecuentemente en piezas grandes y se llaman "insertos huérfanos". Debe tenerse cuidado para evitar restringir algunos materiales plásticos con el metal que puede tener una significativa diferencia térmica en el coeficiente de expansión.



10. Factores de lay-out. Cuando formamos muchas piezas en un molde, el espacio entre piezas debe ser suficiente para prevenir sobre-encogimientos o arrugas (webbs) entre cada pieza y el clamp.

11. Estimación del costo de materiales. El siguiente es un método sencillo para obtener un costo aproximado del material por pieza.

1. obtener el costo de la lámina (sin formar)
2. dividir el costo de la hoja entre el número de piezas por hoja
3. esto es en "el peor de los casos" el costo del material por pieza, pues se asume que el costo del scrap va incluido.
4. el costo del material puede ser pulido, estimando el valor del scrap de recorte y de desecho; esto se hace restando el valor del scrap del costo determinado en el punto 2.

La estimación de costos puede ser mejorada obteniendo mejor información acerca del espesor deseado y la anchura de los realces óptimos.

4.2 DISEÑO DE MOLDE

El diseño de moldes está interrelacionado muy de cerca con el diseño de la pieza y dependerá de los siguientes factores:

- a. diseño de la pieza
- b. equipo de procesamiento y formado utilizado
- c. tamaño de la corrida de producción
- d. tipo de material a utilizar
- e. material usado para el molde
- f. tiempos de enfriamiento y uniformidad requerida
- g. ángulos de salida aceptables Vs. requerida

Ponderando éstos conceptos, posiblemente el más importante sin dejar de tomar en consideración los otros, sea el de el volumen estimado de producción, ya que de éste dependerá el tipo de molde, material, acabado, técnica de termoformado, etc.. A continuación se presentan los criterios para el diseño del molde.

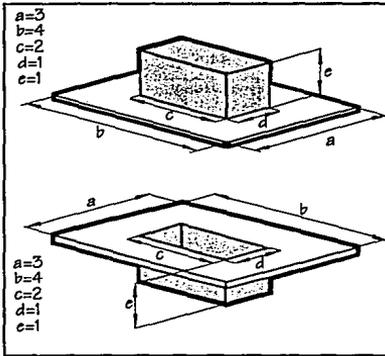
- Un molde macho es más fácil de usar y es el más adecuado para formar piezas profundas. En general un molde hembra no deberá emplearse para formar piezas que requieran una profundidad mayor de la mitad del ancho de la pieza. El molde hembra se usará cuando la

cara cóncava de la pieza terminada sea la de utilidad.

- Los moldes deberán contar con suficientes orificios de vacío para que la lámina revenida pueda formarse en las partes críticas del molde, los orificios 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 ($1/32$ a $1/8$ "). Se puede lograr un vacío más efectivo si el orificio es agrandado por la parte interna.
- Deberá proveerse de conductos que permitan la circulación de agua o aceite a través del molde cuando se requiera un control de temperatura en el mismo.
- Cuando las dimensiones de la pieza formada sean críticas, los moldes deberán construirse $\pm 1\%$ más grandes para compensar la contracción del material.
- Una pequeña curvatura del molde en las áreas grandes permitirá al enfriarse el material, obtener áreas planas.
- No se podrán obtener piezas con paredes a 90° , los ángulos de salida deberán ser por lo menos de 3° .
- Es recomendable redondear las aristas ya que el formado en vértice, acumula esfuerzos internos. La resistencia de la pieza será mayor, diseñando orillas, esquinas y cantos redondeados.
- Las partes delgadas o más débiles, pueden reforzarse con costillas de refuerzo. Las costillas reforzarán también áreas planas de gran tamaño.
- Si es necesario moldear incrustando un inserto permanente o candado removible, debe considerarse la diferencia del coeficiente de expansión de los diferentes materiales.
- La superficie de los moldes puede ser forrada con franela de algodón, fieltro, terciopelo, gamuza u otros materiales para disminuir las marcas del molde.

adelgazamiento en el espesor del material. Bajo todas las condiciones de termoformado donde las piezas son formadas a partir de una hoja o 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 de terminar el área de la hoja 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. Teóricamente existe una fórmula para determinar el porcentaje de adelgazamiento del material, considerando que el material es uniformemente revenido y estirado.

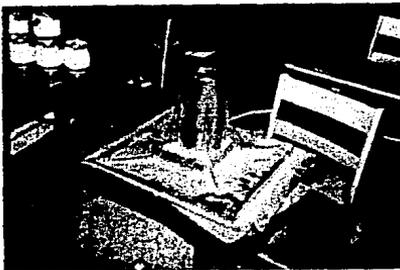
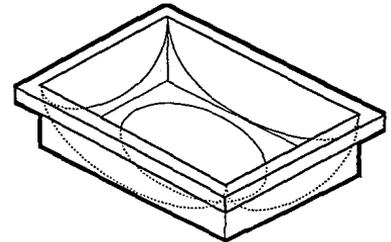
$$\% \text{ de adelgazamiento} = \frac{\text{espesor final de material}}{\text{espesor original del material}} = \frac{\text{área disponible de la hoja}}{\text{área total de la pieza formada}}$$

$$\frac{A \times B}{A \times B \times E (2C + 2D)}$$

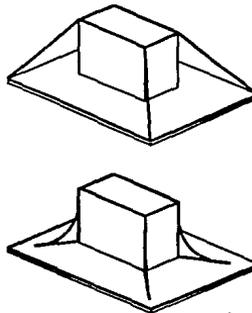
En la práctica se puede determinar el espesor, directamente de una muestra termoformada cortando pequeños pedazos en las distintas secciones y determinando con un micrómetro o calibrador, otros métodos incluyen la utilización de hojas translúcidas y correlacionando la intensidad de color en las diferentes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

53

Una consideración que debe tomarse en cuenta es la posibilidad de que se formen arrugas en alguna zona crítica o en la parte inferior de un molde macho o hembra. Si la hoja revenida no es capaz de contraerse de la dimensión A a la B, el exceso de material formará arrugas.



pieza con defecto de arrugas



En el caso de un molde hembra ocurre lo contrario, la hoja será alargada hasta los 4 vértices de la superficie del molde, resultando extremadamente delgada. Este efecto puede observarse en la mayoría de las tinas termoformadas.

Cuando se utiliza una temperatura baja de moldeo, la hoja conservará una mayor tenacidad y elasticidad. Para piezas grandes se recomienda incrementar el tiempo o temperatura de moldeo en zonas difíciles de termofomarmy así se minimiza este tipo de defecto. Cuando se tienen moldes múltiples se debe de proveer el espacio suficiente para prevenir las arrugas, una distancia de 1.75 veces la altura de la pieza, será adecuado.

encogimiento y tolerancia dimensional. El encogimiento y tolerancias dimensionales en el termofomado son diferentes para piezas formadas en molde macho y aquellos en molde hembra. En un molde macho el encogimiento puede disminuirse si la pieza se enfría el mayor tiempo en el molde. Si el enfriamiento se produce hasta la temperatura ambiente en el molde, el encogimiento será mínimo. Esto tendrá por resultado que la dimensión interna de la pieza será muy cercana a la dimensión del molde, pero un ciclo de operación bastante improductivo. El hecho es, sin embargo que en los moldes macho la pieza deberá desmoldarse todavía cuando esté caliente, de lo contrario será difícil el desmoldeo. Esto precisamente se refiere al encogimiento térmico, que es la diferencia proporcional entre la temperatura ambiente y la temperatura al momento de desmoldar. Así, de esta manera, para conservar la dimensión especificada de la pieza será necesario que el molde sea ligeramente más grande. En comparación en el molde hembra, la pieza formada empezará a encogerse tan pronto como la temperatura del material esté por debajo de la temperatura de moldeo. Para mantener la tolerancia, la dimensión del molde deberá ser considerablemente incrementada y la presión de vacío mantenida durante todo el tiempo de operación.

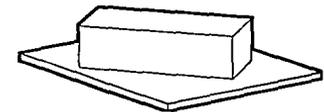
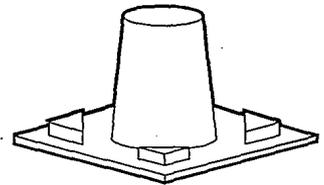
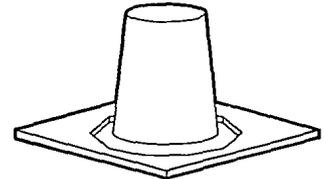
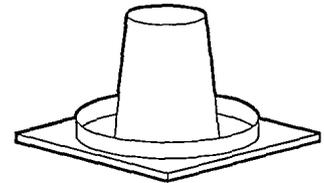
Como guía se puede asumir que el encogimiento en moldes macho será de .127 mm/mm (0.005 pulg/pulg) y para moldes hembra será mayor. Para acrílico, policarbonato, políéster termoplástico y poliestireno orientado se puede considerar aproximadamente .203 mm/mm (0.008 pulg/pulg). De todas maneras, éstos valores se deben de tomar con cautela, ya que existen condiciones que pueden hacerlas variar significativamente (temperatura del molde, tamaño y espesor de la lámina, temperatura final de uso, condiciones extremas de uso, orientación molecular, etc.).

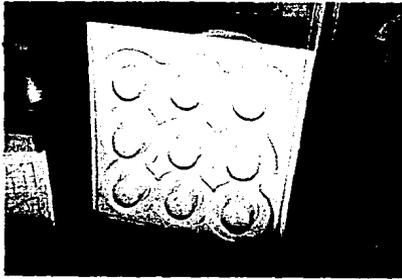
Algunas veces, para prevenir distorsión y encogimiento, será necesario cortar con plantillas de enfriamiento hasta que la pieza esté completamente a temperatura ambiente.

acabado del molde. Es necesario aclarar que los acabados superficiales obtenidos por proceso de inyección y extrusión, no podrán reproducirse en el termofomado. Inclusive los materiales altamente brillantes, perderán brillo durante el proceso; adicional a que tienden a enfatizar marcas y ondulaciones por contacto de un molde frío y cambios en el espesor del material.

Si se requiere que la hoja copie detalles del molde, como por ejemplo texturas antiderrapantes u otras similares, éstas por lo menos deberán ser 3 veces mayor al espesor del material, de hecho

A continuación se muestran algunas técnicas para prevenir arrugas:





moldo múltiple modificado para evitar las arrugas

es mejor contar con una superficie del molde no tan lisa, ya que así no copiará la pieza los errores del molde. Incluso se puede lijar con lija burda o hasta sand-blastear con micro-esferas de vidrio o materiales abrasivos para que con una superficie áspera, se pueda hacer fluir el aire atrapado durante el termoformado.

Generalmente, el acabado en el modelo para vaciados va a influenciar la calidad del acabado del molde, ya sea vaciado, atomizado o electroformado. Ya que es a menudo más fácil pulir un molde macho que uno de cavidad hembra, el factor costo puede afectar la decisión ya sea de utilizar el formado sobre macho o el método de vacío directo en molde hembra -todos los demás factores son iguales. En muchas aplicaciones, el acabado del molde no es importante porque sólo el lado que no tiene contacto de la hoja formada es visible.

El uso de selladores, lacas o ceras fuertes de pasta son de gran ayuda para obtener el buen acabado en el modelo usado para vaciado de yeso o resinas plásticas para moldes.

barrenos de vacío. El tamaño y el número de barrenos para vacío es determinado por la geometría de las piezas, así como el tipo de termoplástico usado.

Para mejores resultados, los barrenos para vacío deben ser de entre 1/32 hasta 1/8 de diámetro y contra-barenados con un diámetro 0.250" (6.35 mm) por debajo del molde; ésto provoca una mayor velocidad en la evacuación del aire.

Un número suficiente de barrenos debe usarse para asegurar la evacuación rápida del aire (menos de 1/2 segundo) para así formar apropiadamente la hoja. Sin embargo en algunos blisters o empaques con contorno, ha ayudado al proceso de formado, el evacuar el aire en manera lenta y controlada.

Dependiendo del tipo de molde, se puede utilizar desde un sólo orificio de 1/2 o hasta 1", como en el caso de termoformado de domos, hasta una distribución homogénea en todos los vértices del molde. En los dibujos se puede apreciar la distribución de los barrenos de vacío o presión de aire, típicos de moldes.

En general el diámetro de los barrenos de vacío deberán ser ligeramente menores al espesor del material de la lámina ya formada para evitar que se marquen en la pieza.

Para reducir el volúmen de aire y el tiempo de desplazamiento en un molde principalmente hembra, es muy conveniente rellenar la caja de vacío con materiales ligeros, para lo cual se pueden utilizar varias técnicas: la más sencilla es el colocar pelotas de hule espuma o esferas de poliestireno espumado (unicel), cubiertas con algún sellador o resina epóxica (es importante hacer pruebas con algunos recubrimientos, pues algunos deshacen el material); también se puede utilizar rebaba de aluminio con resina epóxica, formando una mezcla porosa, que además de servir para éste fin, dá estructura al molde y buenas características térmicas, en este caso, los barrenos se pueden realizar en cualquier parte; otra técnica sumamente utilizada es la de colocar por la parte posterior del molde, medias cañas -formando una tubería interconectada, con una

sóla salida-, pudiendo ser de cartón reforzado con fibra de vidrio y colocada alineándose con las perforaciones previamente establecidas; en este caso no se pueden hacer perforaciones de última hora y fuera de donde se encuentra este sistema.

enfriamiento del molde. En los casos de corridas grandes, es conveniente un sistema de enfriamiento en el molde, generalmente se emplea tubo de cobre localizado adecuadamente y con capacidad suficiente para transportar un volúmen considerable de agua o refrigerante. Es conveniente establecer una relación entre la temperatura del molde y la hoja, para que el material no se enfríe en exceso y no se termoforme por debajo del límite inferior de la temperatura de moldeo.

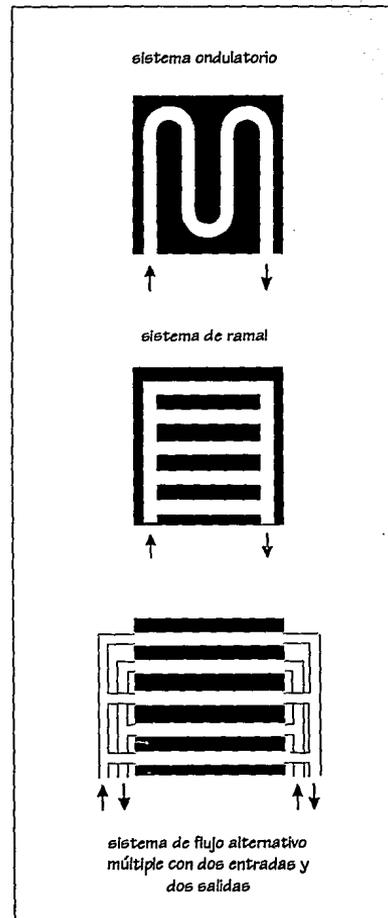
Hay distintos métodos para enfriar un molde, por ejemplo, cuando existen zonas críticas de moldeo, se pueden incorporar insertos plásticos de nylon o politetrafluoretileno. En algunos casos se puede aplicar un recubrimiento plástico para reducir la conductividad térmica o inclusive, después del termoformado se puede inyectar aire a presión por los orificios de barreno o de vacío. En la ilustración a la izquierda, se muestran 3 sistemas de enfriamiento.

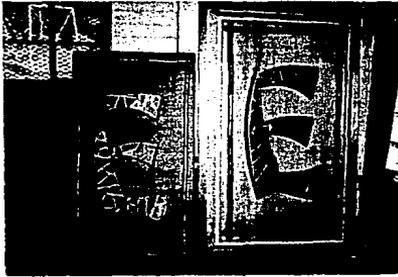
ayudas de moldeo. El propósito de éstas, son obtener una mejor distribución del material en la pieza formada, actuando como un pre-formado, y se utilizan para piezas de gran profundidad. Estos se pueden construir del mismo material del molde. Las ayudas metálicas hechas de fierro o aluminio deben de estar a una temperatura de 10 a 15°C abajo de la temperatura del material, si la temperatura de éste es muy alta, el material se puede pegar; las ayudas tipo esqueleto o de contomo sólo son barras redondas metálicas formando las aristas de la pieza. Las ayudas hechas de madera y plástico son construídas bajo el principio de un buen aislante térmico. La superficie podrá ser madera suave, plásticos como el nylon, o algún otro termofijo, espuma sintética o hasta franela.

El acabado deberá ser muy liso, pulido y con radios en los cantos y aristas, para evitar rasgadas u marcas indeseables en la pieza.

materiales para moldes. El termoformado permite el rango más amplio en el uso de materiales para el herramental y moldes que cualquier otro proceso de transformación de plásticos. Para aplicaciones donde el volúmen no es suficiente para cubrir gastos de un molde de metal con temperatura controlada, pueden usarse yeso, madera, epoxy, poliéster o combinaciones de éstos para la fabricación de moldes. El material más comúnmente usado para hacer moldes con aplicaciones de altos volúmenes, es el aluminio vaciado o maquinado. Algunas veces son aplicados recubrimientos fuertes para proteger las superficies de los moldes de aluminio, incrementando así el tiempo de vida útil en aquellas aplicaciones donde los moldes estén sujetos a características de alta abrasión de algunas resinas termoplásticas.

Los moldes también han sido fabricados en bronce y después cromados para extender la vida de servicio.





molde izquierda: fabricado con bambú, palitos, piedras, y diversos materiales naturales / derecha: pieza extraída en acrílico cristal y coloreada por la parte posterior.

57



molde fabricado en cierto tipo de madera aglomerada "porosa", evitando así perforaciones de vacío

Vacío y aire comprimido son los principales elementos empleados en darle forma a las hojas termoplásticas en la configuración deseada; el vacío se hace a través de pequeños agujeros en el molde, localizados estratégicamente, para permitir a la hoja alcanzar contacto íntimo con la superficie del molde.

El uso de agujeros a través del molde es lo más usual para dar camino al flujo de aire, éstos caminos son usados para extraer el aire de entre la hoja de resina caliente y el molde y para aplicar el vacío de formado. Esto es realizado para asegurar el contacto íntimo entre hoja y molde y así producir una pieza que copia al molde adecuadamente. Otras maneras para lograr la salida del aire, que no se usan comúnmente, son 1) acanaladuras angostas interconectadas a los canales de vacío y 2) la fabricación de moldes en secciones, permitiendo la evacuación del aire entre éstas.

A pesar de que varios materiales pueden ser usados para la fabricación de moldes, el aluminio es favorecido para las aplicaciones de alto volumen de producción, pero para prevenir la acumulación excesiva de calor en su superficie, el molde debe enfriarse. Las temperaturas altas en la superficie del molde provocarán que las piezas se peguen y tiempos largos de enfriamiento antes de desmoldear la pieza. El aluminio con su alta conductividad térmica, permite la incorporación de canales de enfriamiento de agua; éstos normalmente son diseñados para flujo turbulento y dar el control necesario de temperatura en la superficie del molde, idealmente debe ser considerado para un volumen alto de flujo, suficiente para mantener un diferencial entre el interior y el exterior de no más de 2.8°C (5°F).

A continuación haremos una descripción de las propiedades y características de algunos materiales para moldes:

1. madera (pino, caoba, cedro, maple, triplay, aglomerado). El uso de maderas duras para corridas experimentales o cortas es de práctica común, se necesita tener precaución en el tipo de adhesivo utilizado para la unión de secciones. Un pegamento termofijo es lo más adecuado. La madera debe ser secada en horno y pegada con la veta en dirección paralela, ya que la madera tiene diferentes valores de encogimiento en dirección de la veta contra transversalmente a ésta. Para mejorar la superficie de un molde de madera, puede cubrirse con caseína, barniz fenólico o resinas epóxicas diluidas en metil-etil-cetona y después lijarse y pulirse. Cubriendo el molde por completo con epoxy se mejorará la estabilidad previniendo la absorción de humedad por la madera. Los moldes hechos con triplay o aglomerado tienen mayor duración. La duración del molde puede prolongarse considerablemente reforzando las aristas con metal.

2. yeso (carbonato de calcio, fluosilicato de sodio). Los moldes de yeso tienen más duración que los de madera y pueden vaciarse de un compuesto de yeso de bajo encogimiento, alta resistencia y reforzados en su interior por malla de metal, fibra de vidrio u otros materiales que no absorban humedad. Las ventajas principales del yeso como material para moldes son: el bajo costo, fácil de modelar y fragua o endurece a temperatura ambiente, por lo que no se necesitan

grandes aparatos de calentamiento como los usados para endurecer las resinas termofijas.

3. plástico. Resinas fenólicas vaciadas, epóxicas con carga y resinas furan tienen en general las mismas ventajas como materiales para moldes, es decir, excelente estabilidad dimensional, buena resistencia a la abrasión y una superficie tersa y no porosa. Los moldes de plástico pueden prepararse y repararse cuando sea necesario a un costo muy bajo. Para fortalecer la parte inferior de un molde de plástico vaciado puede reforzarse con fibra de vidrio impregnada de resina.

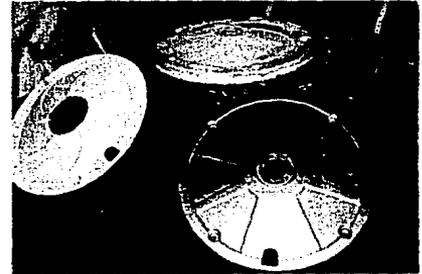
4. aluminio. Moldes de aluminio pueden ser fabricados básicamente de dos formas. Pueden elaborarse partiendo de bloques de aluminio y maquinarse a las apropiadas dimensiones y acabados. También pueden ser fabricados por vaciado de aluminio, y después maquinarse y terminarse.

5. metal atomizado. El molde mismo consiste de una cubierta de metal rociado, impregnado de resina para reforzar su rigidez. Para todos los propósitos prácticos, moldes de metal atomizado de metales ferrosos y no ferrosos están clasificados como permanentes. Algunos moldes que han sido rociados con aluminio, cobre, níquel, acero al bajo carbón, estaño y zinc han hecho tantos como 500,000 piezas sin evidencia de deterioro en este tipo de moldes. Detalle preciso puede ser reproducido con este tipo de molde, tales detalles como la colocación de "petates" con tela, texturas fibrosas han sido formadas al vacío con una inusual fidelidad.

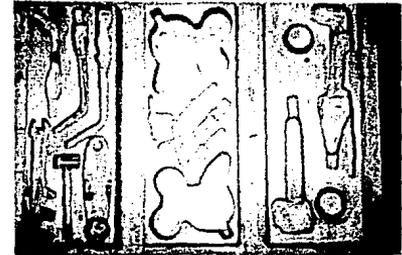
6. metal electroformado. Estos moldes son de tipo permanente, y son producidos sobreponiendo capas de cobre, níquel, y cromo dentro de una coraza. Puede ser obtenido detalle preciso y terminado superficial excepcional a través de esta técnica de placas controladas. Ordinariamente, para rigidez y durabilidad, la carcasa es reforzada por atrás con zinc u otra aleación similar no ferrosa de baja temperatura.

7. moldes maquinados. Para formas sencillas, los moldes maquinados de acero estándar son satisfactorios desde ambos puntos de vista, el económico y el de producción. De cualquier manera en moldes de cavidad múltiple, la tendencia es hacia materiales vaciados por los factores favorables de costo.

molde de yeso y piezas formadas a partir de éstos; se hidieron como muestras en un tiempo muy corto; el yeso como tal es muy frágil pero se puede reforzar en mezcla (cemento) o en estructura (malla metálica, madera, etc.)



58



molde de prueba para termoformar empaque en película de poliestireno para equipo de soldadura.



GUIA DE PROBLEMAS Y SOLUCIONES

formado incompleto

esto sucede cuando la hoja o una área de la hoja falla en la conformación adecuada al molde, resultando en un formado de detalle pobre.

CAUSA	SOLUCION
1 hoja muy fría	1 aumentar el tiempo de calor 2 Incrementar la temperatura del calentador 3 aumentar el wattage 4 aumentar la uniformidad de calentamiento
2 insuficiente vacío	1 checar perforaciones de vacío bloqueadas 2 aumentar el número de perforaciones de vacío 3 checar la localización apropiada de las perforaciones de vacío 4 aumentar el tamaño de las perforaciones de vacío
3 el jalón de vacío no es suficientemente rápido	1 checar fugas de vacío 2 checar el diseño del sistema de vacío para reunir requerimientos de volúmenes de evacuación 3 aumentar el tamaño de las perforaciones de vacío 4 aumentar la capacidad del tanque o bomba
4 marco de sujeción frío	1 pre-calentar el marco de sujeción
5 relación grande del estirón de la pieza	1 agregar ayuda de pistón, marco o presión

hoja quemada

La lámina quemada se vuelve amarilla.

CAUSA	SOLUCION
1 superficie superior o inferior demasiado caliente	1 disminuir el ciclo de tiempo de calentamiento 2 disminuir la temperatura del calentador

arrugas

CAUSA	SOLUCION
1 hoja muy caliente	1 disminuir el ciclo de tiempo de calentamiento 2 disminuir la temperatura del calentador
2 insuficiente vacío	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

- 3 diseño o lay-out deficiente
 - 1 uso de asistencia en la parte superior o ayuda de estiramiento
 - 2 usar molde hembra en lugar de macho

excesivo pandeo de la lámina

CAUSA SOLUCION

- 1 lámina muy caliente
 - 1 disminuir el ciclo de calentamiento
 - 2 disminuir la temperatura del calentador
- 2 área de la hoja muy grande
 - 1 use calentamiento preferencial con la ayuda de pantallas, particularmente al centro de la hoja

variación de pandeo entre hojas

CAUSA SOLUCION

- 1 variación de temperatura entre hoja y hoja
 - 1 corrientes de aire no deseadas a través de la sección de calentamiento
 - 2 insuficiente enfriamiento en la hoja después de la extrusión
- 2 uso de remolado no controlado
 - 1 control de calidad del remolado
 - 2 disminuir o controlar el porcentaje de remolado

marcas de enfriamiento

CAUSA SOLUCION

- 1 el estiramiento se detiene cuando la hoja toca al molde o pistón fríos
 - 1 aumentar la temperatura del molde
 - 2 aumentar la temperatura del pistón
- 2 diseño inapropiado del molde o pistón
 - 1 rebajar las áreas críticas del molde o pistón

marcas en la superficie visible

CAUSA SOLUCION

- 1 molde sucio
 - 1 limpieza del molde frecuentemente
- 2 molde muy caliente o muy frío
 - 1 aumentar la temperatura del molde
 - 2 disminuir la temperatura del molde
- 3 calidad deficiente en la superficie del molde para la apariencia deseada de la pieza
 - 1 mejorar el acabado superficial
- 4 superficie de la hoja sucia o dañada
 - 1 mejorar las técnicas de manejo y almacenaje para proteger la hoja
 - 2 limpiar la hoja
- 5 superficie del molde gastada
 - 1 usar material apropiado para requerimientos del servicio proyectado
- 6 aire atrapado sobre la superficie lisa del molde
 - 1 reducir el pulido del molde
 - 2 agregar perforaciones de vacío en el área afectada

7	insuficiente vacío	1 checar perforaciones de vacío obstruidas 2 checar fugas en el sistema de vacío 3 aumentar el número de perforaciones de vacío 4 checar la localización apropiada de las perforaciones de vacío
8	hoja contaminada	1 control de la calidad y el tipo de remolido 2 checar con el proveedor de láminas
9	polvo en la atmósfera	1 reducir el polvo en el aire, mejorando la limpieza del lugar 2 aislar el área y proveerle de aire filtrado

torcedura de la pieza

CAUSA	SOLUCION
1 pieza demasiado caliente al retirarla	1 aumentar el enfriamiento de la hoja por a) aumentar el ciclo de enfriamiento b) aumentar la capacidad de enfriamiento con ventiladores 2 disminuir la temperatura del molde
2 diseño de la pieza inadecuado	1 rediseñar aumentando en las áreas planas una pequeña curvatura o bordes, etc.
3 enfriamiento desigual de la pieza	1 aumentar la temperatura del molde y/o uniformar temperatura 2 checar la operación del sistema de enfriamiento
4 distribución pobre del material	1 checar la variación del espesor de la hoja 2 checar la desigualdad en el calentamiento de la hoja 3 para estiramientos profundos usar pistón de ayuda y/o pre-estiramiento

pieza amarrada al molde

CAUSA	SOLUCION
1 pieza o molde muy caliente	1 incrementar el ciclo de enfriado 2 disminuir la temperatura del molde
2 candados en el molde	1 usar un marco angosto o removible 2 agregar o incrementar el aire a presión para botar la pieza y/o la duración
3 ángulos inadecuados del molde	1 incrementar ángulos de salida 2 convertir de formado macho a hembra
4 superficie del molde deficiente	1 uso de desmoldantes 2 mejorar la superficie del molde

distorsión de la pieza posterior al desmoldeo

CAUSA	SOLUCION
1 enfriamiento inadecuado de la pieza	1 checar el sistema de enfriamiento 2 aumentar el ciclo de enfriamiento 3 aumentar la capacidad de enfriamiento del sistema

distribución del material deficiente

También conocido como control deficiente del espesor de las paredes

CAUSA

SOLUCION

- | | |
|---|---|
| 1 considerable variación en el espesor de la hoja | 1 checar el espesor de la lámina
2 mejorar el control en la extrusión de la lámina |
| 2 calentamiento de la hoja 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 |
| 3 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 |
| 4 desplazamiento de la hoja fuera del marco de sujeción | 1 mejorar la capacidad de sujeción del marco
pre-calentamiento del marco a la temperatura normal de operación
3 checar los calentadores alrededor del área de sujeción por inoperatividad |
| 5 método de formado erróneo para la pieza diseñada | 1 equilibrar el diseño de la pieza con los métodos de formado disponibles |

burbuja de pre-estiramiento no uniforme

CAUSA

SOLUCION

- | | |
|---|---|
| 1 calentamiento de la hoja sin control | 1 checar la operatividad de los calentadores
2 usar pantallas o sombras para control de calentamiento
3 checar corrientes de aire en la estación de calentamiento |
| 2 presión de aire no uniforme en la burbuja | 1 checar fugas en el sistema de aire a presión
2 checar el sellado en la caja de burbuja
3 re-direccionar la entrada de aire a la caja de burbuja |

esquinas delgadas en piezas profundas

CAUSA

SOLUCION

- | | |
|---|--|
| 1 calentamiento de la hoja sin control | 1 checar operatividad de los calentadores
2 usar pantallas o sombras para controlar el patrón de calentamiento
3 checar corrientes de aire en la estación de calentamiento |
| 2 distribución del material sin control | 1 considerar otra técnica de formado como la de burbuja de pre-estiramiento y/o ayuda de pistón |
| 3 espesor de la hoja muy delgado | 1 aumentar el espesor de la hoja |
| 4 temperatura del molde no uniforme | 1 checar la operatividad del sistema de calentamiento de molde
2 rediseñar la distribución del calor en el molde |

la pieza se amarra al pistón de ayuda	CAUSA	SOLUCION
	1 temperatura del pistón muy caliente	1 disminuir la temperatura del pistón 2 lubricar el pistón 3 cambiar las características superficiales del pistón a) cubrir con franela o fieltro b) aplicación permanente de lubricante en la superficie
	2 pistón de ayuda de madera	1 lubricar el pistón 2 cambiar las características superficiales del pistón a) cubrir con franela o fieltro b) aplicación permanente de lubricante en la superficie
desgarramiento de lámina durante el formado	CAUSA	SOLUCION
	1 hoja muy caliente	1 reducir el ciclo de calentamiento 2 reducir la temperatura del calentador 3 pre-calentar la hoja
	2 distribución del material deficiente	1 chequear variación de espesor de la hoja 2 chequear el patrón de control de calentamiento
	3 pre-estiramiento muy grande	1 reducir el volumen de soplado para la burbuja 2 reducir la temperatura de la burbuja
	4 hoja muy fría	1 aumentar el ciclo de calentamiento 2 aumentar la temperatura del calentador
burbujas en la hoja	También conocido como ampolas o huecos	
	CAUSA	SOLUCION
	1 humedad excesiva	1 pre-secar la hoja 2 pre-calentar la hoja 3 calentar por ambos lados 4 proteger la hoja de la humedad hasta que esté lista para el uso
	2 rápido calentamiento de la hoja	1 usar un rango menor de calentamiento a) temperaturas de calentamiento más bajas b) aumentar la distancia entre calentadores y lámina
	3 goteo de agua sobre la hoja caliente	1 prevenir que las fugas de fluido no goteen sobre la hoja
protuberancias en la hoja en la cara del molde	CAUSA	SOLUCION
	1 hoja muy caliente	1 disminuir el ciclo de calentamiento 2 disminuir la temperatura del calentador
	2 perforaciones devació muy grandes	1 disminuir el tamaño de las perforaciones

pérdida del color por degradación	CAUSA	SOLUCION
	1 sobre-calentamiento de la hoja	1 checar fuga de calentadores si es localizada 2 disminuir el ciclo de calentamiento 3 reducir la temperatura del calentador
	2 estrón excesivo de la hoja	1 aumentar el espesor de la hoja 2 aumentar la temperatura de la hoja 3 aplicar pre-estiramiento 4 aplicar ayuda de pistón para piezas con estiramiento profundo
	3 molde muy frío	1 aumentar la temperatura del molde
	4 pistón de ayuda muy frío	1 aumentar la temperatura del pistón
	5 uso de remolido no controlado	1 calidad en el control de remolido 2 disminuir el porcentaje de remolido
	6 enfriado de la hoja antes de formarse	1 disminuir los ciclos de formado

blaqueamiento de la hoja	CAUSA	SOLUCION
	1 hoja muy fría	1 aumentar el ciclo de calentamiento 2 aumentar la temperatura del calentador
	2 estiramiento por debajo del punto de cede del material	1 aumenar la velocidad del estrón

pérdida de la claridad del realce	CAUSA	SOLUCION
	1 profundidad del grabado demasiado pequeña para la relación del estrón	1 aumentar la profundidad del grabado 2 disminuir la relación de estrón
	2 estrón no uniforme	1 usando pantallas para controlar el patrón de calentamiento 2 pre-estirar la hoja con pistón de ayuda y/o burbuja

craqueo de la pieza en uso	CAUSA	SOLUCION
	1 formado con esfuerzos considerables	1 aumentar la temperatura de la hoja durante el formado 2 usar temperaturas adecuadas de formado y rangos de enfriamiento para piezas con estiramientos profundos 3 aumentar bordes
	2 espesor de la pieza muy pequeño para el estrón	1 aumentar el espesor de la hoja
	3 calentamiento de la hoja sin control	1 utilizar pantallas o sombras para controlar el patrón de calentamiento

6

A P E N D I C E

6.1 APENDICE FOTOGRAFICO

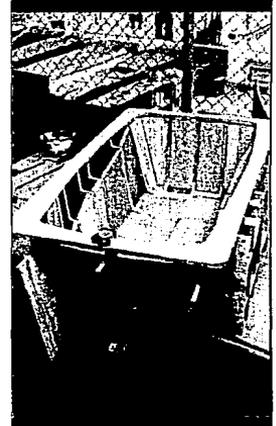
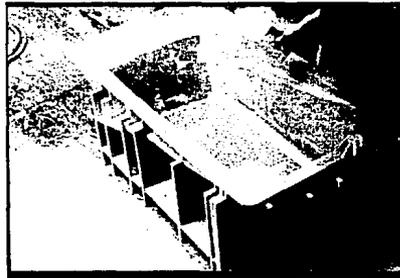
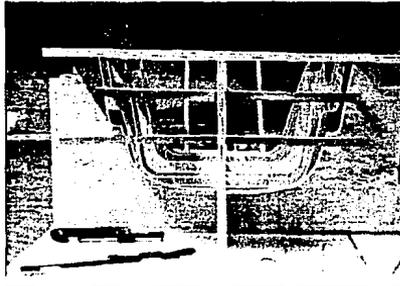
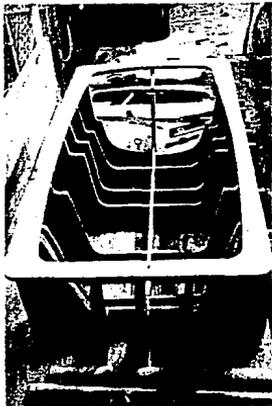
A continuación se muestra el proceso de fabricación de un molde para tina de acrílico: las 4 primeras fotografías son del modelo hembra donde utilizamos cortes o secciones de madera, colocados estratégicamente, para después continuar con recortes de madera completando la forma. Posteriormente se resanó con resina epóxica con carga de aluminio (debido a su fácil manejo en cuestión de desbastado y acabado, no

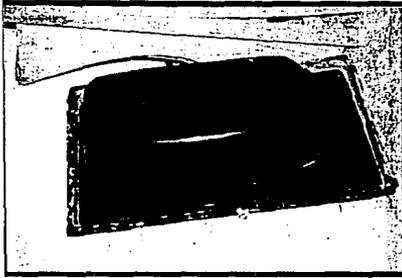
en cuestión de costos), ya resanado, lijado, pulido y encerado, se aplicó resina poliéster reforzada con fibra de vidrio para obtener un macho y de éste sacar el o los moldes definitivos.

Rápidamente este proceso consiste en: 1) encerado de modelo macho; 2) aplicación de desmoldantes (con brocha o pistola); 3) aplicación de gel-coat (resina con mejores características para acabados superficiales); 4) colocación de fibra de vidrio en velo y mecha o roving en aristas; 5) colocación de fibra de vidrio en colchoneta; 6) colocación de refuerzos (medias cañas de cartón, ángulo de aluminio, madera, etc.) cubiertos con resina y fibra, a éstas alturas ya se puede usar fibra de vidrio en petatillo, porque si se utilizara en las primeras capas, la textura podría calcarse a la superficie del molde; 7) en éste caso, para el desmoldeo, se hizo un barreno en el área de drenaje y se aplicó aire a presión.

Para fabricar el molde definitivo se utilizaron 2 tipos de resinas epóxicas, una para el acabado superficial con carga de aluminio y la otra compatible con el apareto que contiene la fibra de vidrio. El proceso con resina epóxica tiene sus variantes con respecto al de la resina poliéster -no es recomendable encerar-, se aplican más o menos 3 manos de desmoldante con pistola, para la aplicación de la primera resina (gel-coat) hay que empezar con una capa lo más delgada posible e

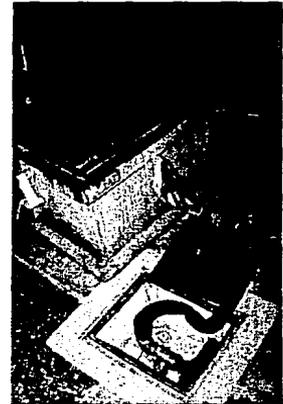
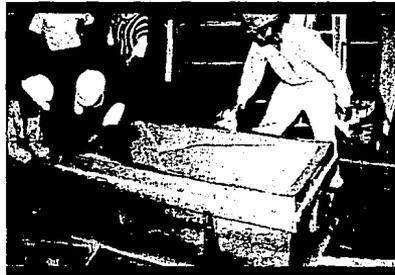
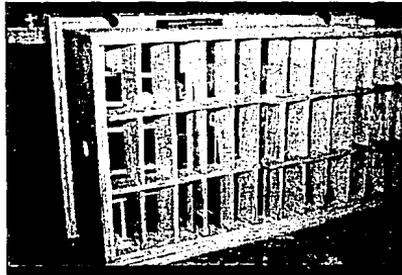
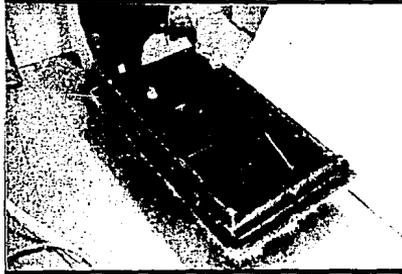
65





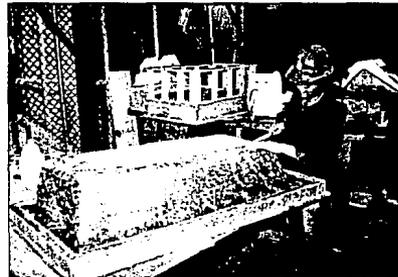
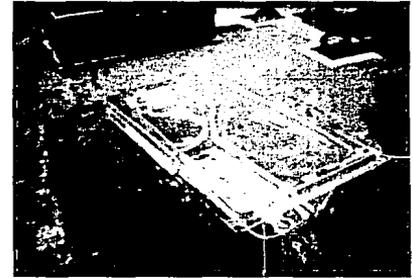
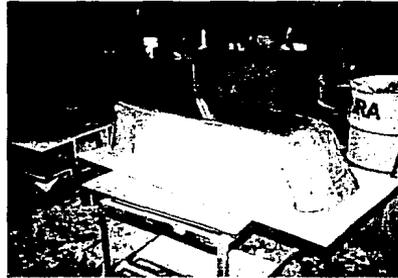
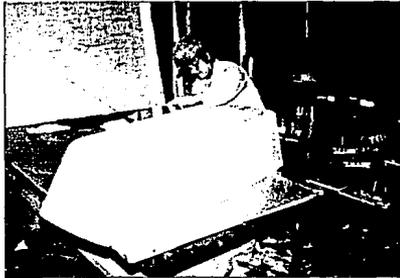
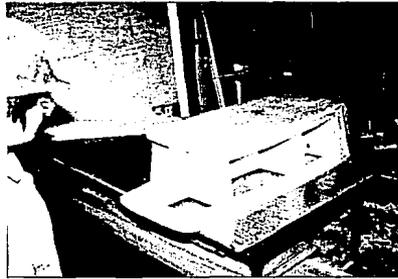
Introduciría en los lugares difíciles, la segunda capa hay que aplicarla cuando la primera aún esté pegajosa o si ya endureció, aplicar un lijado con lija gruesa, en ésta segunda capa no importa el grueso del vaciado. Las primeras 3 ó 4 capas de la segunda resina con fibra de vidrio deben de estar libres de burbujas, y en las posteriores es recomendable dejar picos de fibra para obtener mejor amarre entre capas. Es bueno utilizar un ventilador en las aplicaciones, para evitar exotermia excesiva.

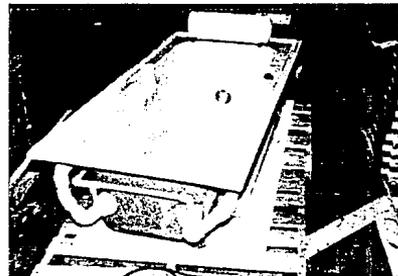
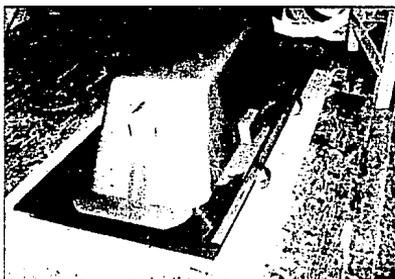
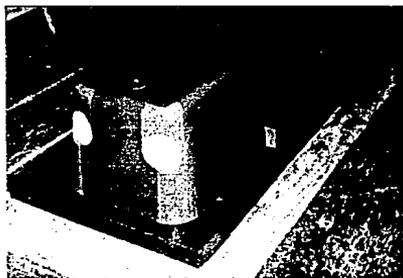
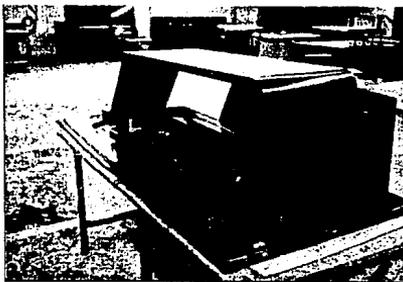
En éste caso, la caja de soporte fué la caja de vacío y se relleno con pelotas de esponja para disminuir el volúmen de aire a evacuar.



En este caso nos ahorramos el modelo hembra y se inició con el modelo macho en madera, de la misma manera que el ejemplo anterior. Se puede observar una placa de acrílico en la parte superior que sirvió para obtener una cavidad en el molde donde se colocó una malla metálica para que en el momento de termoformar se obtuviera una textura antiderrapante.

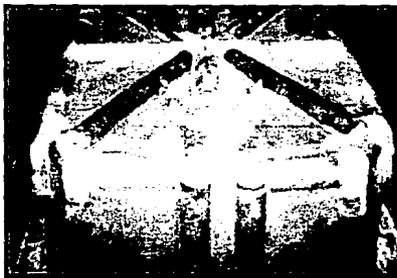
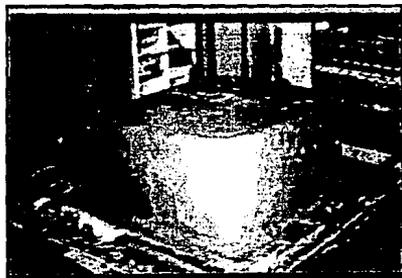
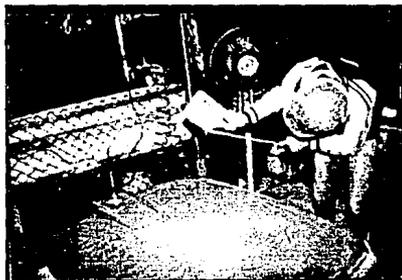
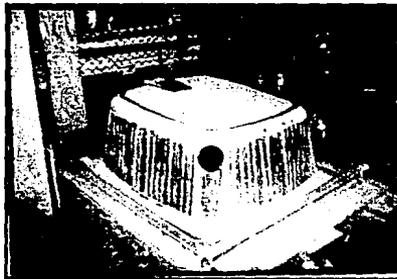
Aquí, el sistema de vacío se fabricó con medias cañas de cartón reforzadas con resina y fibra por los 2 lados y se colocaron en el molde, cubriendo únicamente las perforaciones previamente realizadas.



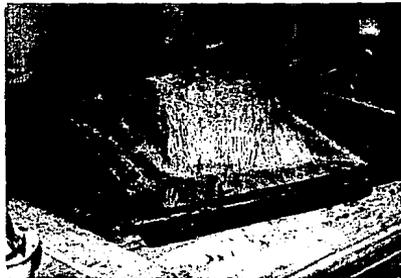


En este tercer caso, el modelo macho se fabricó con lámina acrílica para las caras planas y pasta preparada con resina poliéster para todas las aristas. Los círculos y protuberancias que se observan, son para colocar en la pieza formada, las boquillas de hidromasaje, que fueron terminadas de formar con ayudas mecánicas.

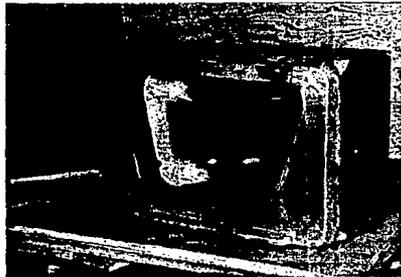
Igual que en el ejemplo anterior, se fabricó un modelo macho en acrílico, pero esta vez con paredes -de acrílico delgado- curvas; éstas se doblaron en frío sobre una serie de costillas también de acrílico y se pegaron con pegamento polimerizable. La insistencia o necesidad de usar acrílico para fabricar modelos era el de aprovechar la planicidad, acabado, y la característica de poderlo pulir, además de que lo teníamos de sobra. Las dimensiones de este molde son de 1.80 x 1.50 m con una profundidad de 60 cm, para termoformar tinas en acrílico para hidromasaje.



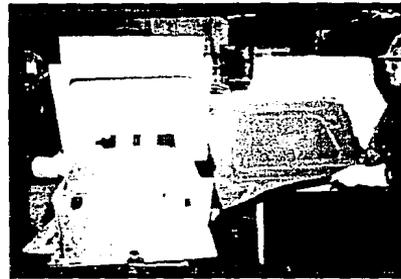
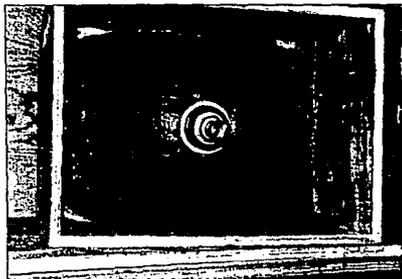
ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA



Aquí, partiendo del modelo macho -obtenido de un modelo hembra-, iniciamos aplicando la resina epóxica con carga de aluminio como capa superficial; pero después experimentamos una técnica que utiliza General Electric Plastics y es la de preparar una masa porosa de rebaba de aluminio con resina epóxica quedando una estructura resistente y llena de miles de conductos de aire (como muégano), después, para sellar ésto hacia la parte posterior del molde se colocaron tramos de fibra de vidrio (colchoneta) previamente mojados y escurridos con resina. Las perforaciones de vacío se hicieron al final y gracias a ésta estructura se pudieron hacer en cualquier lugar donde, conforme se iba termoformando, se requiriera. Para la conexión de la manguera de vacío, se utilizó una coladera de fregadero.

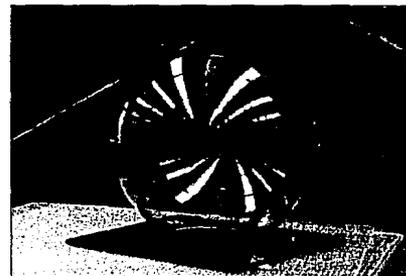
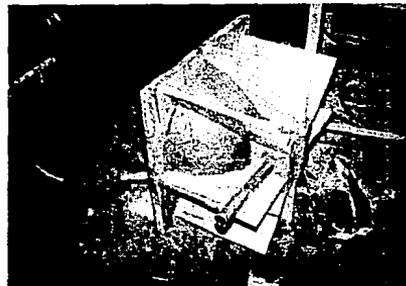
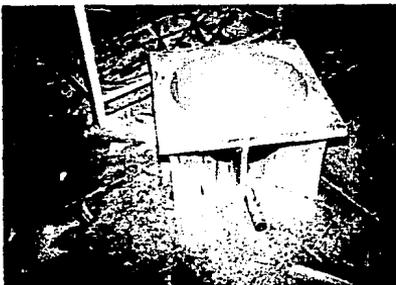
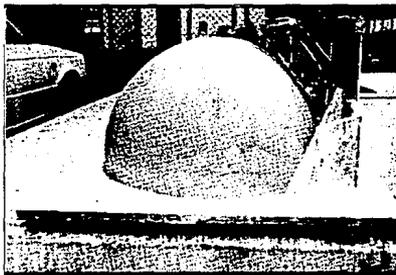


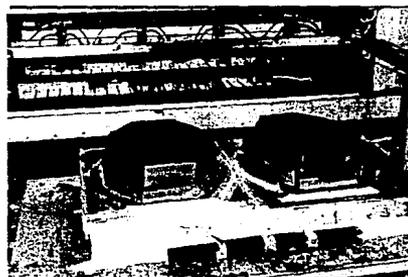
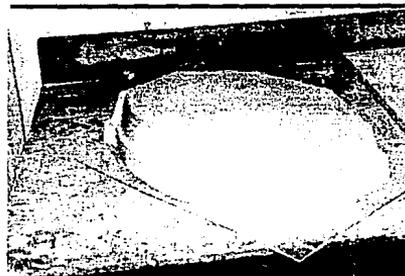
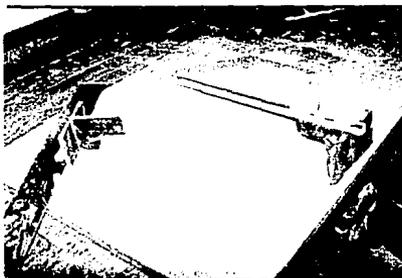
70



Lo más lógico y práctico para hacer una esfera (2 medias esferas pegadas) termoforada, sería, hacer un bastidor con un hueco redondo e inflar el material a través de ella hasta alcanzar el radio, pero debido al descalibre de casi todos los materiales (extruídos y casting) ésto produce esferas "chipotudas", así que mejor decidimos hacer un molde; comenzamos con un modelo macho hecho de yeso (El Tigre) con un escantillón de acrílico (puede ser de lámina, resina poliéster, etc.). Al interior del modelo se colocó una malla metálica a manera de falso plafón y se comenzó a cucharear el yeso, quitándo el exceso con el escantillón fijado al centro en la parte superior, así hasta llegar a la forma final. Se decidió formar en molde hembra para facilitar el pegado a hueso, ya que el espesor del material quedó más grueso en la parte superior de la pieza hembra, pero como la vista de la pieza es externa, fué necesario darle al molde un acabado muy bueno y, durante el proceso, mantener una limpieza extrema.

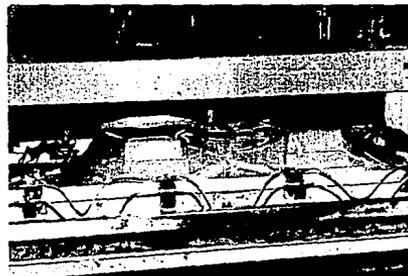
71

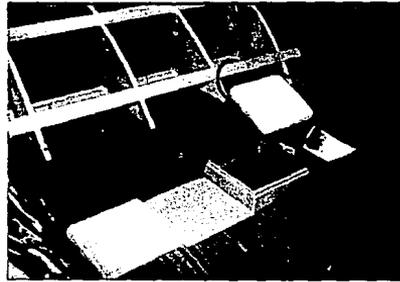




Para las casetas telefónicas los modelos se fabricaron de la misma manera que la esfera (yeso, escantillones de acrílico, compás para radios, etc.); pero del modelo hembra se obtuvieron 2 moldes macho de cada pieza para formar 2 simultáneamente.

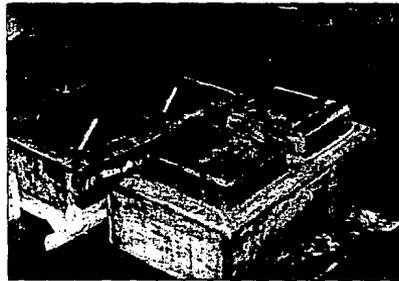
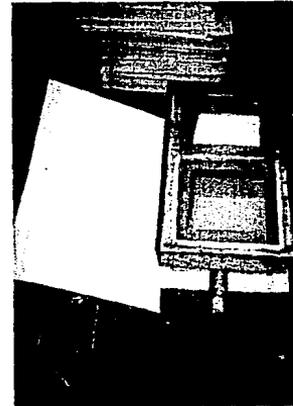
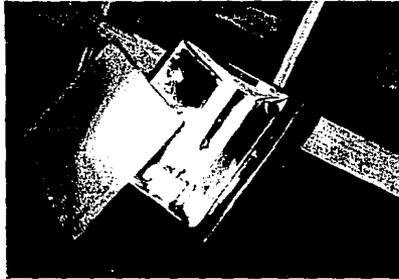
Estas piezas son termoformadas en acrílico alto impacto transparente extruido; ya formadas se imprimen en serigrafía por la parte interna con marcos de formas singulares; después se aplica resina poliéster gel-coat (blanca y naranja) y finalmente resina con fibra de vidrio; estas piezas termoformadas y reforzadas son recortadas con disco abrasivo. El cuerpo (pieza transparente) es doblado linealmente; para finalizar, las 4 piezas son ensambladas y pegadas con adhesivo polimerizable.

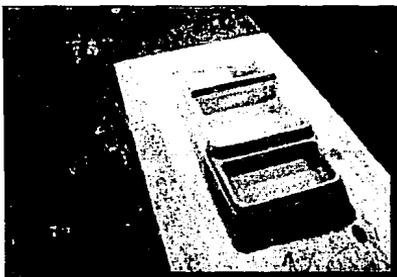
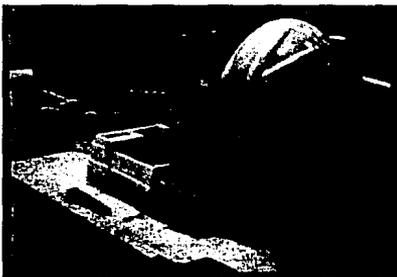
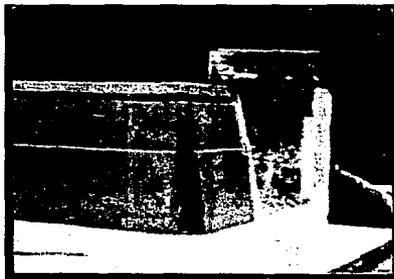
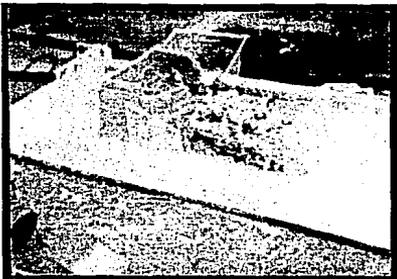




73

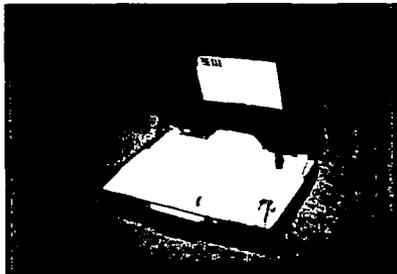
En este proyecto, lámpara de OSRAM, que constaba de 4 piezas -3 termoformadas y 1 de recorte y barrenado-, utilizamos moldes dobles de cada elemento. El difusor fue termoformado en acrílico translúcido sobre molde macho ya que se requerían dimensiones internas con poca tolerancia; el reflector igual, se formó en molde macho, aunque la cara cóncava era la vista e inclusive se metalizó, se tuvo mucho cuidado en el acabado del molde y la limpieza durante la producción; en la pieza del cuerpo tuvimos un adelgazamiento considerable por lo que se aumentó el espesor de la lámina, mejorando así el problema. El reflector y el cuerpo se fabricaron a partir de lámina de ABS con un ligero grabado simulando pléi.



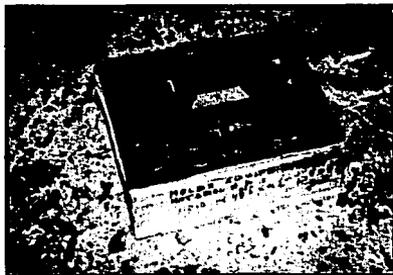


Para la elaboración de este modelo en yeso, del proyecto consóla central para Ichi-Van, se fabricaron escantillones de acrílico tomando en cuenta el adelgazamiento supuestos del material (ABS), encogimientos de enfriamiento del material, encogimiento de la resina epóxica, etc., logrando piezas bastante aceptables.

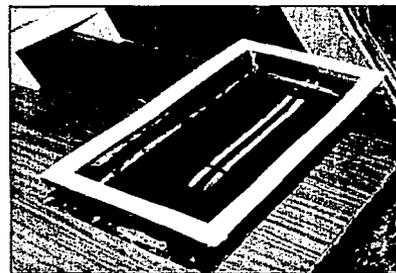
Para este portafolio se termoformó una pieza en ABS con divisiones internas para alojar equipo médico como, un frasco de suero, boquillas, mangueras y hasta una pequeña bomba de aire.



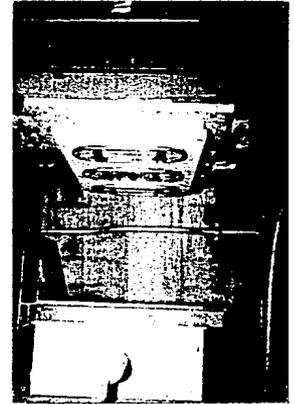
75



Modelo en acrílico y molde en resina epóxica con carga de aluminio para termoformar en policarbonato luminarias para tren.



Este molde triple con la técnica de molde macho y vacío con retorno, está fabricado, el macho tipo esqueleto con barra de fierro soldada y bien pulida y la hembra, en madera con las aristas cubiertas con resina epóxica. Charolas para cocina en acrílico.

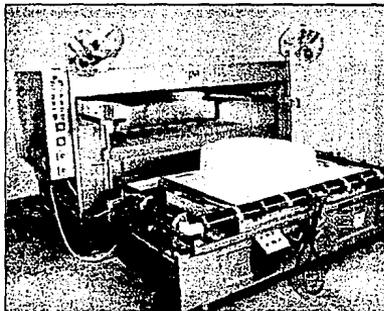


76

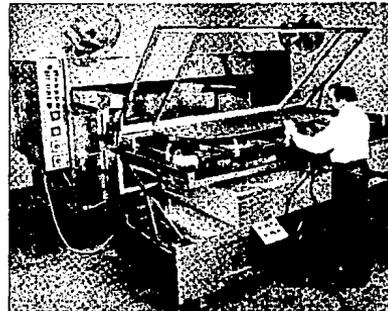


En estas fotos nos damos cuenta de las dimensiones que podemos manejar en el termoforado al vacío.

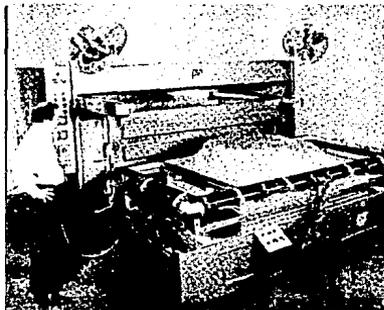
molde colocado en la plataforma de vacío



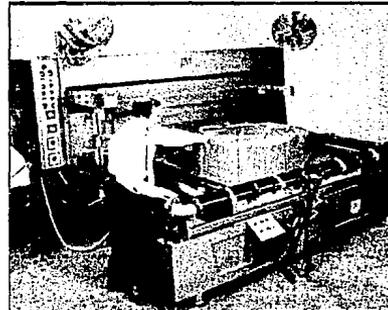
colocación de la hoja en el marco de sujeción



77 Aquí vemos una máquina de tipo de marco móvil con calentadores superiores e inferiores, formando una pieza de ABS.



la hoja es jalada sobre el molde, asegurando un sellado de vacío



el vacío es aplicado y la pieza formada

6.2 TABLA DE CONVERSIONES

$$\text{gravedad específica: } 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 62.4 \frac{\text{lb}}{\text{cu ft}}$$

$$\text{calor específico: } 1 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}^\circ\text{F}} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

$$\text{calor de fusión: } 1 \frac{\text{Btu ft}}{\text{sq hr}^\circ\text{F}} = 12 \frac{\text{Btu in}}{\text{sq ft hr}^\circ\text{F}} = 0.00413 \frac{\text{cal cm}}{\text{cm}^2\text{sec}^\circ\text{C}} = 0.0173 \frac{\text{W cm}}{\text{cm}^2^\circ\text{C}}$$

$$\text{conductividad térmica: } 1 \frac{\text{in}}{\text{in}^\circ\text{F}} = 1.80 \frac{\text{cm}}{\text{cm}^\circ\text{C}}$$

°F multiplicar centígrados por 1.8 + 32 al resultado

°C restar 32 a los Fahrenheit y dividir entre 1.8

78

6.3 PROVEEDORES DE EQUIPO Y ACCESORIOS

BOMBAS DE VACIO

BAF

Constantino 19, colonia Ex-Hipódromo de Peralvillo, México 06250 D.F. / tel.: 583 1824
FAX 597 6476 / 782 1690

AISA

Jaime Torres Bodet 102 A, colonia Sta. Ma. la Rivera, México 06400, D.F. / tel.: 547 56889 / 547 4692

BROCAS PARA ROUTER, ALTA VELOCIDAD, SIERRA CINTA, DISCOS SIERRA VIAJERA, RADIAL O DE BANCO

SIERRAS Y MANTENIMIENTO, S.A.

Matriz: Shubert 135, Ex-Hipódromo de Peralvillo, México 06220 DF / tel.: 597 4143 / 597 4648
/ 597 9492 / FAX 583 5379

Sucursal: Lago Chapultepec 107, Seminario, Toluca 50170, Edo. de Méx. / tel.: 91 (72) 17 7955 / 12 0698

CILINDROS HIDRAULICOS Y NEUMATICOS
(accesorios para prensas)

GUSS & ROCH

Salomón 336, colonia Libertad Atzacapozcalco,
México 02050 D.F. / tel.: 352 2710 / 352 2967
/ 352 2190 / 352 3790

**CLAMPS, SUJETADORES DE ACCION
RAPIDA**

CLAMPS, S.A.

Av. Uranio 215, Unidad Industrial Vallejo,
Tlalnepantla, Edo. de México

COMPRESORES DE AIRE

PINTURAS Y HERRAMIENTAS

Atenas 33, colonia Juárez, México, D.F. / tel.:
535 7250 / 535 7673 / 535 8874 FAX 591 0594

MAGUER, S.A.

José T. Cuellar 27, colonia Obrera, México
06800 D.F. / tel.: 5780639 / 578 8856 / 761
6030

**COMPRESORES Y HERRAMIENTAS
ELECTRICAS Y NEUMATICAS, S.A.**

Melchor Ocampo 306, colonia Cuauhtémoc,
México 06650, D.F. / tel.: 525 5466 / 207 7161

**COMPUESTOS EPOXICOS, DESMOLDAN-
TES, TINTAS, POLIURETANOS, AISLA-
MIENTOS ELECTRICOS**

HYSOL INDAEL DE MEXICO, S.A.

Calz. Atzacapozcalco, La Villa 774, México,
D.F. / tel.: 587 0800 / 587 0744

**CONEXIONES PARA MANGUERAS,
NIPLES, ADAPTADORES, CONEXIONES
RAPIDAS**

DE VILBISS DE MEXICO, S.A. DE C.V.

Vía Dr. Gustavo Baz 3990, colonia
Tequesquinhauac, Tlalnepantla 54100 Edo.
de México / tel.: 565 32555 / 390 34277

FIBRA DE VIDRIO

VITROFIBRAS, S.A.

Ingenieros Militares 85, 4º piso, México 11230
D.F. / tel.: 576 8299

AISLANTES MARCOS

Morena 309, colonia del Valle, México, D.F.

**FILTROS, REGULADORES
Y LUBRICADORES**

SHARER BELLOW

Calle No. 9 - 6, fraccionamiento Alce Blanco,
Naucalpan 53370 Edo. de México

**HORNOS DE GAS CON RECIRCULACION
FORZADA DE AIRE**

KINTEL, S.A.

Alonso Cano 128, México 01460 D.F. / tel.:
598 4907 / 598 4752 / 598 7303

MAROCO, S.A.

Canarias 925, colonia Portales, México 03300
D.F. / tel.: 605 0093 / 604 6511 / 605 0047

**HYFISA, HORNOS Y FABRICACIONES
INDUSTRIALES, S.A DE C.V.**

Quito 735, Altos 5, colonia Lindavista, México

07300 D.F. / tel.: 754 1973 / 752 3459 / 586 8300

**HORNOS DE
CALENTAMIENTO INFRAROJO**

AAA PLASTICS EQUIPMENT INC.
4700 Lone Star Blvd., Fort Worth, TX 76106 /
tel.: (817) 625 7221

BROWN MACHINERY DIV., PLASTICS MA-
CHINERY JOHN BROWN
330 N. Ross St. Beaverton, MI, 48612 / tel.:
(517) 435 7741

EMC MACHINERY DIV., SNOW CORP.
3817 Rutledge St., Ft. Worth, TX 76107 / tel.:
(817) 732 5554

PLASTI VAC INC.
P.O. Box 5543, Charlotte, N.C. 28225 / tel.:
(704) 33 434728

COMET MACHINERY
2500 York Road, Elk Grove Village, IL, 60007
/ tel.: (312) 766 7200

HOT STAMPING

SILDOREL, S.A. DE C.V.
Cerrada de Tapioca 102, colonia Granjas
Esmeralda, Iztapalapa 09810, México D.F. /
tel.: 582 8455 / 582 1390

**LIJAS DE AGUA, BANDAS Y
RODETES DE LIJA**

FANDELLI (ESPECIALIDADES)
Av. Presidente Juárez 225, colonia San

Jerónimo Tepetlaco, Tlalnepantla 54000
Edo. de México / tel.: 397 5233

MANGUERAS Y ACCESORIOS

BRUNSSSEN, S.A. DE C.V.
República del Salvador 31, Centro, México, DF

MAQUINARIA EN GENERAL

LEON WEILL, S.A.
San Jerónimo 40 esq. Isabel la Católica,
Centro, México 06080 D.F. / tel.: 709 4100

MEXICO VIRUTEX, S.A. DE C.V.
Blvd. M. Avila Camacho 120 A, fracc. El
Parque, Naucalpan 53390 Edo. de México /
tel.: 576 0361 / 358 8660 FAX 359 4364

MATERIA PRIMA (PLASTICOS)

ADVANCED ELASTOMER SYSTEMS /
MONSANTO COMERCIAL S.A. DE C.V.
ABS / Santoprene, etc.
Bosque de Duraznos 61 3er piso, Bosques de
las Lomas, México 11700 D.F. / 251 1992 FAX
251 7923

A.L.QUIM, S.A. DE C.V.
plásticos en general
Poniente 122 No.419, Industrial Vallejo,
México 02340 D.F. / tel.: 368 0660 / 368 0773
/ 567 2274 / 567 2231

BODEGA DE PLASTICOS
plásticos en general
Av. San Antonio No. 406, San Pedro de los
Pinos, México D.F. / tel.: 611 4966 / 611 4846

DECORNOVA, S.A. DE C.V.
PVC / plásticos en general
Rep. del Salvador 133, Centro, México 06090
D.F. / 542 3342

GE PLASTICS MEXICO, S.A. DE C.V.
poli carbonato, ABS, plásticos de ingeniería
Horacio 1855 - 104, México 11510 D.F. / tel.:
580 3222/580 2722/557 9426 FAX 557 9607

INDUSTRIAS RESISTOL
poliestireno, ABS, plásticos en general
Bosque de Ciruelos 99, Fracc. Bosques de las
Lomas, México 11700 D.F. / 596 0230 / 596
3588 / 596 0177 / 726 9011

PLASTIGLAS DE MEXICO, S.A DE C.V.
acrílico, formado profundo, PVC espumado
Bosque de Ciruelos 99, Bosques de las Lomas,
México 11700, D.F. / 596 0230 / 596 0188 ext.
1300 al 1316 FAX 251 3650

TUBELITE DE MEXICO
plásticos en general
tel.: 592 4483 / 546 9126

MOLDES DE TERMOFORMADO
(FABRICACION)

INDUSTRIAS HERNANDEZ BARBOSA, S.A.
1era. Cerrada de Sur 77, No. 18, colonia
Viaducto Piedad, México D.F. / tel.: 538 3365
/ 530 5746

MOLDES INTERMEX
Blvd. Adolfo López Mateos 223, colonia San
Pedro de los Pinos, México D.F. / tel.: 271
0127

EMC MACHINERY, DIV. SNOW CORP.
3817 Rutledge St., Ft. Worth TX 76107 / tel.:
(817) 732 5554

PASTAS PARA PULIR

AMERICAN BUFF
Emilio Cárdenas 201, Centro Industrial
Tlalnepantla, 54110 Edo. de México / tel.: 574
0188

RESISTENCIAS BLINDADAS
Y TIPO RESORTE

CASILLAS, S.A.
Revillagigedo 104 C, Centro, México 06050
D.F.

RESISTENCIAS Y AISLANTES REVAZ, S.A.
Victoria 67, Centro, México 06050 D.F. / tel.:
518 2733 / 512 0148

ALPE, S.A. DE C.V.
Venado 46, colonia Los Olivos, México 13210
D.F. / Tel.: 845 0505 FAX 845 7205

RODETES DE FRANELA

AMERICAN BUFF, S.A.
Emilio Cárdenas 201, Centro Industrial
Tlalnepantla 54000 Edo. de México / tel.: 574
0188

RESINA POLIESTER Y EPOXICA

REICHHOLD
Norte 45 No. 731, colonia Industrial Vallejo,
México 02300 / tel.: 567 1900

POLIFORMAS PLASTICAS, S.A.
Calz. Ignacio Zaragoza 448, México, D.F. /
tel.: 784 8905 / 784 8690

UNIVERSAL DE RESINAS Y FIBRAS, S.A.
Av. Observatorio 525, colonia Las Palmas
Capulín, México, D.F. / tel.: 515 1920 / 515
2291

GRUPO QUIMICO INDUSTRIAL DE TOLUCA,
S.A. DE C.V. <MEGA>
Camino Viejo a San Lorenzo s/n, Toluca, Méx.
/ tel.: (72) 15 0524 / 14 2438

QUIMICA MONSAYER, S.A. DE C.V.
Francisco Villa No. 2, Tlalnepantla, Edo. de
México / tel.: 565 8472 / 565 2079

**SEGURIDAD, LENTES DE SEGURIDAD Y
GUANTES GRIP N HOT MILL**

INFRA, WELSA DE MEXICO, S.A. DE C.V.
Blvd. Toluca 8, Naucalpan, Edo. de México /
tel.: 348 2888

SERIGRAFIA

TINTAS SANCHEZ
Isabel la Católica 516, colonia Algarín, México
06470 D.F. / tel.: 519 6390 / 538 3800 / 530
4596
P. Elías Calles 1210, colonia Portales, México
03300, D.F. / tel.: 532 3926 / 532 3946

PRO-COLOR
Bulgaria 14 A, colonia Portales, México 03300
D.F. / 572 7235 / 532 1882 / FAX 532 0155

PROBST, S.A. DE C.V.
Calz. de las Armas 120, Tlalnepantla 54080,
Naucalpan 53000, México / tel.: 394 7866
telex 17 2649



F U E N T E S D E I N F O R M A C I O N

ADVANCED ELASTOMER SYSTEMS

Correspondencia Técnica
Vacuum Thermoforming of Ethylene Propylene
Thermoplastic Vulcanizates
TCDO 4486

MONSANTO PLASTICS
Engineering Thermoplastics

ENGINEERING MATERIALS AND THEIR APPLICATIONS

Flin / Trojan
segunda edición 1981

PLASTI-NOTICIAS
Los Materiales Plásticos y sus Aplicaciones

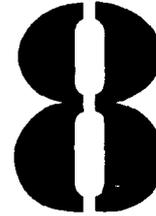
GE PLASTICS
Publicación Técnica P-406

TERMOFORMADO / LOS SIETE
FUNDAMENTOS DEL TERMOFORMADO
Plásticos de Ingeniería / William K. Mc.Connell,
Jr. - Mc.Connell Co., Inc., Fort Worth, Texas /
Dic. '90.

MANUAL TECNICO DE TERMOFORMADO.
Plástiglas de México, S.A. de C.V.
LDI José Antonio Gallardo Frade

THE PLASTICS DISTRIBUTOR
Gufa a los Termoplásticos

C O N C L U S I O N



Al concluir los estudios profesionales, creemos que es válido suponer que casi todos nos cuestionamos el : ¿qué aprendí?, ¿qué voy a aplicar?, conozco un poco de todo y nada de algo en específico.

El poder trabajar y desarrollarse profesionalmente en la industria, es una actividad altamente gratificante pues podemos llegar a ver el o los productos en manos de quienes los necesitan, allá afuera, en el mercado. Así también, se nos presenta la oportunidad de asimilar, que uno de los conocimientos más importantes que adquirimos durante nuestra carrera, es precisamente el de coordinar, integrar y articular muchos de los factores -funcionales, como de producción-, para llegar a la concretización de cualquier proyecto; ésto se dá gracias al encuentro de nuestra disciplina con la de muchas otras áreas.

Toda la información y experiencias recopiladas, descritas en ésta tesis, esperamos de todo corazón, sean base para ideas o planes de trabajo en el desarrollo de algún producto llevado a cabo bajo éstas técnicas o proceso, y que de alguna manera "acorten el camino de búsqueda de *cómo hacer ésto*"; de cualquier modo, hacemos hincapié en que siempre las condiciones bajo las cuales pudieran operar, serán distintas y recomendamos por ésto, aplicar pruebas correspondientes para la adaptación del proceso sobre el diseño.

A G R A D E C I M I E N T O S

En todo lo que hayamos aprendido en base a las experiencias de trabajo, en relación a éste tema, se encuentran involucrados los **compañeros**, en el tomar la decisión de realizar ésta tesis y el compromiso de elaborarla, también estuvo empujada por los **amigos**, en la oportunidad de poder haber concluído una carrera, conocido todo ésto y a todos ellos, siempre está, nuestra **FAMILIA** apoyándonos.

A TODOS, damos las **GRACIAS**.