



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**MANUAL TÉCNICO SOBRE PRINCIPIOS Y CONOCIMIENTO GENERAL
DEL PROCESO DE TERMOFORMADO PARA LA INDUCCIÓN Y
MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO DEL PERSONAL DE LA EMPRESA
TALLERES POLANCO**

Marvin Mauricio Marcos Mijangos
Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño

Guatemala, octubre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANUAL TÉCNICO SOBRE PRINCIPIOS Y CONOCIMIENTO GENERAL
DEL PROCESO DE TERMOFORMADO PARA LA INDUCCIÓN Y
MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO DEL PERSONAL DE LA EMPRESA
TALLERES POLANCO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MARVIN MAURICIO MARCOS MIJANGOS

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO

AL CONFERÍRSELE ÉL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

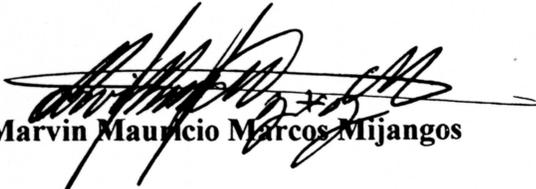
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Willy Contreras
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**MANUAL TÉCNICO SOBRE PRINCIPIOS Y CONOCIMIENTO GENERAL
DEL PROCESO DE TERMOFORMADO PARA LA INDUCCIÓN Y
MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO DEL PERSONAL DE LA EMPRESA
TALLERES POLANCO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha octubre de 2007.


Marvin Mauricio Marcos Mijangos

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 1 de octubre de 2008
REF.EPS. DOC.847.10.08.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **MARVIN MAURICIO MARCOS MIJANGOS** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200010834, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“MANUAL TÉCNICO SOBRE PRINCIPIOS Y CONOCIMIENTO GENERAL DEL PROCESO DE TERMOFORMADO PARA LA INDUCCIÓN Y MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO DEL PERSONAL DE LA EMPRESA TALLERES POLANCO”**.

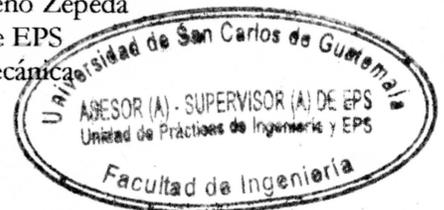
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo
CACC/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 1 de octubre de 2008
REF.EPS. DOC.847.10.08

Ing. Julio César Campos Paiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"MANUAL TÉCNICO SOBRE PRINCIPIOS Y CONOCIMIENTO GENERAL DEL PROCESO DE TERMOFORMADO PARA LA INDUCCIÓN Y MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO DEL PERSONAL DE LA EMPRESA TALLERES POLANCO"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **MARVIN MAURICIO MARCOS MIJANGOS** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor -Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Inga. Norma Beana Sarmiento Zecena de Serrano
Directora Unidad de EPS



NISZ/ra



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación de la Directora de la Unidad del Ejercicio Profesional Supervisado, al trabajo de graduación MANUAL TÉCNICO SOBRE PRINCIPIOS Y CONOCIMIENTO GENERAL DEL PROCESO DE TERMOFORMADO PARA LA INDUCCIÓN Y MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO DEL PERSONAL DE LA EMPRESA TALLERES POLANCO, del estudiante **Marvin Mauricio Marcos Mijangos**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, octubre de 2008.

/behdei



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área de Laboratorios, al Trabajo de Graduación titulado **MANUAL TÉCNICO SOBRE PRINCIPIOS Y CONOCIMIENTO GENERAL DEL PROCESO DE TERMOFORMADO PARA LA INDUCCIÓN Y MEJORAMIENTO DEL TERMOFORMADO PARA LA INDUCCIÓN Y MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO DEL PERSONAL DE LA EMPRESA TALLERES POLANCO**, del estudiante **Marvin Mauricio Marcos Mijangos**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, septiembre de 2008

JCCP/behdei

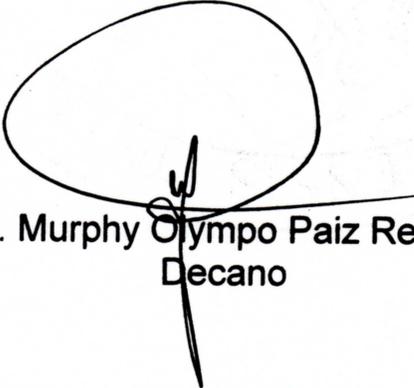


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.367.08

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado, **MANUAL TÉCNICO SOBRE PRINCIPIOS Y CONOCIMIENTO GENERAL DEL PROCESO DE TERMOFORMADO PARA LA INDUCCIÓN Y MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO DEL PERSONAL DE LA EMPRESA TALLERES POLANCO**, presentado por el estudiante universitario **Marvin Mauricio Marcos Mijangos**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, Octubre de 2008

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Mi Padre Todopoderoso porque Él fue el que me dio valor, aptitudes y confianza para perseverar y alcanzar lo que ahora es una meta trazada.

MI PADRE

Rolando Marcos López
Hombre de ejemplo, humilde, inteligente, perseverante y trabajador, que este triunfo sea un homenaje a su apoyo, ayuda y esfuerzo por sacarme adelante.

MI MADRE

Maria Luisa Mijangos Moran de Marcos
A quien entrego mi título, agradeciéndole su esfuerzo, dedicación, amor, apoyo y sacrificio incondicional, a lo largo de mis estudios, por lo que le dedico mi triunfo.

MI HERMANO

Melvin Rolando Marcos Mijangos
A quien por sus consejos, ánimo y apoyo, logró infundirme el deseo de superación, y también por su compañía, ya que sin el este acontecimiento no sería tan importante.

MIS ABUELOS

Luis Felipe Mijangos Ceballos (+)
Hombre incomparable, forjado en la escuela de la vida y mecánico sin igual, al que le debo la orientación en mi vocación y por un recuerdo de hombre de triunfo que dejó grabado en mi mente, mi superación la dedico especialmente a su memoria.

Ausberta Moran Pozuelos de Mijangos (+),
Bernarda Lopez de Marcos, Alfredo Marcos
Por sus ejemplos de trabajo y honradez, por
sus consejos y enseñanzas adquiridas y
aprendidas por la exactitud de la
experiencia.

MIS TÍOS Y TÍAS

En especial a Irsa Griselda Mijangos Moran,
Por su apoyo y muestras de cariño.

MIS PRIMOS Y PRIMAS

Por su cariño tan sincero.

MI FAMILIA

Gracias por su apoyo

MIS AMIGOS

En especial a:
Vinicio, Rodrigo, Robin, Joel, Alvaro,
Oscar, Albric, Jennifer, Ruth, Omar, Berner,
Mario, Andrea, Adolfo, Fernando, Erick.
Por su apoyo

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	
1.1 Descripción de la empresa.....	1
1.1.1 Descripción del área de producción.....	1
1.1.2 Descripción básica de los productos.....	2
1.1.2.1 Domos.....	2
1.1.2.2 Laminas de policarbonato.....	3
1.1.2.3 Herrería.....	3
1.1.2.4 Plástico acrílico.....	4
1.2 Principios del termoformado.....	4
1.2.1 Industria del termoformado.....	4
1.2.2 Productos fabricados por termoformado.....	5
1.2.2.1 Industria del empaque.....	5
1.2.2.2 Industria de la comida para llevar.....	6
1.2.2.3 Industria del empaque para alimentos.....	6
1.2.2.4 Transporte.....	6
1.2.2.5 Señalización y anuncios.....	7
1.2.2.6 Artículos para el hogar.....	7
1.2.2.7 Industria alimenticia.....	7
1.2.2.8 Industria médica.....	8
1.2.2.9 Agricultura y horticultura.....	8

1.2.2.10	Construcción y vivienda.....	8
1.2.2.11	Equipaje.....	9
1.2.2.12	Equipo fotográfico.....	9
1.3	Polímeros adecuados para el termoformado.....	9
1.3.1	Propiedades térmicas.....	10
1.3.2	Temperatura.....	11
1.3.3	La medición del calor.....	11
1.3.4	Calor específico.....	11
1.3.5	Conductividad térmica.....	12
1.3.6	Expansión térmica.....	12
1.4	Lámina acrílica.....	13
1.4.1	Lámina acrílica uso general.....	13
1.4.1.1	Características.....	13
1.4.1.2	Disponibilidad.....	13
1.4.1.3	Propiedades físicas de lámina acrílica.....	15
1.4.1.4	Propiedades químicas de lámina acrílica.....	16
1.4.1.5	Protecciones.....	17
1.4.1.5.1	Papel tipo kraft.....	17
1.4.1.5.2	Película antiestática.....	17
1.4.1.5.3	Película plástica adhesiva.....	17
1.4.1.5.4	Película termoformable.....	18
1.4.2	Lámina acrílica de formado profundo.....	18
1.4.2.1	Características.....	18
1.4.2.2	Propiedades físicas.....	20
1.4.2.3	Propiedades químicas.....	21
1.4.2.4	Manejo y protección.....	21
1.4.2.5	Certificación del material.....	22
1.4.2.6	Ciclos de termoformado.....	22
1.5	Calentamiento de plásticos.....	23

1.5.1	Transferencia de calor.....	23
1.5.1.1	Conducción.....	23
1.5.1.2	Convección.....	24
1.5.1.3	Radiación.....	24
1.5.2	Propiedades térmicas de los plásticos.....	24
1.5.3	Medios de transmisión de calor.....	26
1.5.3.1	Calentamiento por contacto.....	26
1.5.3.2	Calentamiento por inmersión.....	27
1.5.3.3	Calentamiento por convección.....	27
1.5.3.4	Calentamiento por radiación infrarroja.....	27
1.5.3.5	Calentamiento interno.....	28
1.5.4	Temperaturas y ciclos de formado.....	29
1.5.4.1	Temperatura de desmoldeo.....	29
1.5.4.2	Límite inferior de operación.....	29
1.5.4.3	Temperatura normal de formado.....	29
1.5.4.4	Límite superior de operación.....	30
1.5.4.5	Recomendaciones generales.....	30
1.5.4.6	Temperaturas y ciclos de formado.....	31
1.5.4.7	Temperaturas de formado.....	32
1.5.5	Determinación de la temperatura correcta del material.....	33
1.6	Técnicas de termoformado.....	35
1.6.1	Termoformado bidimensional.....	35
1.6.1.1	Doblado por calentamiento lineal.....	35
1.6.1.2	Formado en frío.....	36
1.6.2	Termoformado tridimensional (con moldes).....	37
1.6.2.1	Formado libre o por gravedad.....	37
1.6.2.2	Formado mecánico con molde hembra y macho.....	38
1.6.2.3	Formado libre a presión o vacío de aire.....	39
1.6.2.4	Formado a vacío y presión, molde hembra.....	39

1.6.2.5	Formado a presión con ayuda de pistón, molde hembra.....	40
1.6.2.6	Formado a vacío con retorno y molde macho.....	41
1.6.2.7	Formado a presión con ayuda de pistón, molde hembra y vacío.....	41
1.6.3	Técnicas de moldeo en horno de calentamiento infrarrojo.....	42
1.7	Enfriamiento de piezas termoformadas.....	45
1.7.1	Métodos convencionales de enfriamiento.....	45
1.7.2	Métodos no convencionales de enfriamiento.....	46
1.8	Variables del material en el termoformado.....	46
1.8.1	Espesor de la hoja.....	46
1.8.2	Pigmentación de la hoja.....	47
1.8.3	Tamaño de la hoja.....	47
1.8.4	Calidad en la temperatura de la hoja.....	47
1.8.5	Uniformidad en la temperatura de la hoja.....	48

2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

2.1	Equipos de termoformado.....	49
2.1.1	Horno de gas con circulación forzada de aire.....	50
2.1.2	Horno de calentamiento infrarrojo.....	51
2.1.3	Resistencias eléctricas de calentamiento lineal.....	53
2.2	Equipo complementario.....	54
2.2.1	Formado a vacío.....	55
2.2.1.1	Equipos de vacío.....	56
2.2.1.2	Tanques de vacío.....	57
2.2.1.3	Aplicación de las fuerzas de vacío.....	58
2.2.2	Formado con aire a presión.....	59
2.2.3	Formado mecánico.....	61
2.2.3.1	Formado mecánico molde macho-hembra.....	62
2.2.4	Técnicas combinadas.....	63

2.2.5	Diseño de ayudas mecánicas.....	63
2.2.5.1	Ayuda tipo superficie plana y cantos romos.....	65
2.2.5.2	Ayuda tipo envase de lata.....	65
2.2.5.3	Ayuda tipo esférica.....	65
2.3	Pasos para el proceso de producción por formado libre a presión de aire en las instalaciones de Talleres Polanco.	66
2.3.1	Construcción y preparado de los moldes.....	66
2.3.1.1	Construcción de los marcos.....	67
2.3.2	Preparación de la lámina acrílica.....	70
2.3.2.1	Limpieza.....	70
2.3.2.2	Corte.....	71
2.3.3	Preparación del horno.....	72
2.3.3.1	Verificación del estado del horno.....	73
2.3.3.2	Funcionamiento del horno.....	75
2.3.3.3	Subsistemas del horno.....	77
2.3.4	Calentamiento de la lámina acrílica.....	79
2.3.5	El banco de trabajo.....	80
2.3.6	Formado de domos por presión.....	80
2.3.7	Enfriamiento de la pieza.....	82
2.4	Principios para el rediseño del horno para el proceso de termoformado... ..	82
2.4.1	Estructura metálica.....	83
2.4.2	Fijación de la lámina acrílica.....	85
2.4.3	Sistema eléctrico.....	88
2.4.4	Controles.....	90
	CONCLUSIONES	93
	RECOMENDACIONES	95
	BIBLIOGRAFÍA	97
	ANEXOS	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Fenómeno del “cede” o “pandeamiento”	34
2.	Arqueo disminuido en la línea del dobléz, utilizando pinzas	36
3.	Fórmula para el radio de curvatura	37
4.	Formado libre o por gravedad	38
5.	Producción de piezas de dimensiones muy exactas	38
6.	Moldes y formas de los acrílicos formados libremente a presión o vacío de aire	39
7.	Combinación de vacío y presión de aire con molde hembra para lograr mayor precisión en el acabado	40
8.	Utilización de pistón para pre-estiramiento	40
9.	Utilización de vacío para sobre-estiramiento y retorno en molde macho	41
10.	Método sofisticado para termoformado profundo	42
11.	Formado a vacío, molde hembra y ayuda mecánica. Pre-estirado a presión de aire, ayuda mecánica y vacío	42
12.	Formado a vacío, molde hembra y ayuda mecánica. Formado a vacío molde hembra.	43
13.	Formado libre a presión de aire. Pre-estirado a presión de aire, molde hembra, ayuda mecánica y vacío. Pre-estirado a presión de aire, ayuda mecánica y vacío. Formado libre a presión de aire. Formado a vacío, molde hembra, ayuda mecánica y presión de aire.	44
14.	Horno de calentamiento infrarrojo	52

15.	Resistencias eléctricas de calentamiento lineal	53
16.	Lámina acrílica que cede ante la presión negativa generada en el interior del molde	55
17.	Conexión del sistema de aire a presión	58
18.	Utilización de orificios de salida de aire	60
19.	Fabricación del arco cañón	61
20.	Ayudas mecánicas	64
21.	Estiramiento de la plancha acrílica con ayuda tipo esférica	66
22.	Domo acrílico instalado	68
23.	Dimensiones del área de la base del domo	68
24.	Dimensiones del área de anclaje del domo	69
25.	Forma correcta de realizar un corte	72
26.	Horno usado en Talleres Polanco	73
27.	Fotografía de la instalación eléctrica del horno utilizado en Talleres Polanco	74
28.	Fotografía de la instalación de las resistencias de calentamiento infrarrojo	76
29.	Fotografía que hace referencia al aislamiento de los cables y la limpieza en el área de trabajo	79
30.	Diagrama de la disposición de los marcos y la plancha acrílica sobre el banco de trabajo	81
31.	Remaches POP de aluminio y remachadora Mastercraft	84
32.	Estructura del horno con recirculación de aire	85
33.	Sistema de fijación de la lámina de acrílico	86
34.	Vista frontal y detalle de la puerta del horno y sistema de corredera	87
35.	Vista lateral y detalle de la puerta del horno y sistema de corredera	88
36.	Transformador variable	90
37.	Pistola Infrarroja	91

TABLAS

I	Polímeros y temperatura de formado	10
II	Propiedades físicas de lámina acrílica	15
III	Propiedades químicas de lámina acrílica	16
IV	Resistencia química de la lámina acrílica de moldeo profundo	19
V	Propiedades de la lámina de moldeo profundo	20
VI	Propiedades térmicas de algunos materiales	26
VII	Rangos de temperatura	31
VIII	Rangos de temperatura de formado	32
IX	Especificaciones típicas para bombas de vacío	57

GLOSARIO

Absorbencia	La fracción de energía radiante que es retenida por la hoja.
Cavidad	Depresión de un molde hecho por vaciado, maquinado o la combinación de éstos. Dependiendo del número de depresiones, puede ser de una cavidad o multicavidad.
Ciclo	La secuencia completa repetitiva en el proceso de termoformado, que consiste en: calentamiento, formado, enfriado y desmoldeo.
Conducción	Energía transferida por contacto directo de un sólido.
Convección	Energía transferida por el movimiento de una corriente de un fluido.
Copolímero	Polímero compuesto de dos diferentes tipos de monómeros.
Difusibilidad térmica	Índice de transmisión de energía calorífica en un material.
Entalpía	Es la energía interna de un sistema.

Estabilidad dimensional	La capacidad de una pieza de mantener la forma y dimensión precisa del molde utilizado.
Formado a presión de aire	Diferencia de presión que excede a dos atmósferas (30 Psi).
Homopolímero	Polímero formado de un solo tipo de monómero.
Infrarrojo	Parte del espectro electromagnético, entre el rango de luz visible y el rango de ondas de radio. El calentamiento radiante es el rango donde los calefactores infrarrojos son usados para el calentamiento de la hoja. La longitud de onda es de 2.0 a 10.0 mm.
Marcas de enfriamiento	Marcas causadas por la temperatura incorrecta de la hoja de plástico, derivado de un inadecuado calentamiento.
Radiación	Es la transferencia o intercambio de energía electromagnética.
Reflectancia	La fracción de energía radiante que es reflejado de la superficie de una hoja.
Resina	Otro nombre utilizado para denominar a un polímero o material plástico.
Tanque de vacío	El tanque entre la bomba de vacío y el molde, que permite una aplicación uniforme de presión durante el formado.

Transmitancia	La fracción de energía que es transmitida a través de la hoja.
Temperatura melt	El rango de temperatura donde un polímero cristalino cambia de un estado sólido ahulado a uno líquido viscoelástico.
Temperatura de moldeo	La temperatura de la pieza cuando puede ser desmoldada sin que se deforme.
Tensión	Carga externa aplicada a un área definida.
Terpolímero	Polímero formado por tres diferentes tipos de monómeros.
Scrap	Sobrante de material que no forma parte de la pieza final.

RESUMEN

Este manual técnico cuenta con un programa integral de capacitación con los temas necesarios e importantes ordenados de tal manera que facilita el aprendizaje y la asimilación del contenido, redactado de tal manera que puede ser utilizado como herramienta de capacitación o retroalimentación por áreas específicas.

El aprendizaje del termoformado es empírico en la mayoría de los casos, por lo que todo trabajador debe pasar un período largo de aprendizaje y adquisición de habilidades. Entonces se hace necesario tener un método que acelere el buen desempeño del nuevo trabajador, así como aumentar la eficiencia de los que cuentan con cierta experiencia.

El manual tiene como finalidad elevar la productividad del equipo y de los empleados. Este manual cuenta con dos capítulos; el primero presenta una fase de investigación y el segundo una fase técnico-profesional, donde se presentan figuras, tablas, fotografías, planos, definiciones de los distintos tipos de equipos y subsistemas con que cuenta una planta de termoformado con sus respectivos planes de mantenimiento, un análisis de la situación actual del departamento de producción, información del diseño actual del horno y una propuesta para el rediseño del mismo.

La creación de este manual se presenta como la solución para las necesidades que se plantean, dando un soporte para el mejoramiento del proceso con un conocimiento completo de los temas que rodean al termoformado y no concentrándose en el proceso específico de la empresa y el equipo que utiliza, aunque lo comprende, dando detalles de varios sistemas, equipos y técnicas empleadas.

OBJETIVOS

Generales:

1. Identificar las deficiencias y problemas que ocasiona el aprendizaje empírico y la falta de conocimiento técnico en el departamento de producción de la empresa Talleres Polanco.
2. Realizar un manual técnico sobre principios y conocimiento general del proceso de termoformado para el mejoramiento del desempeño del personal por medio de la inducción.
3. Capacitar al personal sobre el termoformado en general y en el correcto uso del equipo y las posibles modificaciones que podría sufrir el proceso de producción.

Específicos:

1. Aumentar la calidad del desempeño laboral.
2. Reducir las pérdidas de calor en el equipo por medio de un mejor uso del mismo.
3. Aumentar la calidad del trabajo del equipo y del personal de producción.
4. Pasar de un proceso artesanal a un proceso más técnico y uniforme.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el proceso del termoformado es una bien cimentada industria y que continua creciendo en demanda y aplicaciones, ya que provee productos útiles y rentables, permitiendo su incursión varias industrias como la del empaque, comida para llevar, transporte, señalización y anuncios, artículos para el hogar, industria medica, agricultura, construcción, etc.

Talleres Polanco es una empresa dedicada a la producción e instalación de productos acrílicos, que procura la mejora constante, de manera que la producción sea más eficiente, limpia y de mejor calidad.

Actualmente, la empresa cuenta con un personal cuyo aprendizaje es lento, debido a que es empírico, y no cuenta con las herramientas adecuadas para la capacitación técnica del mismo da como resultado que el desarrollo de las actividades del departamento de producción no alcance los niveles de operación esperados.

El horno utilizado para el calentamiento de las planchas acrílicas posee pérdidas de calor, derivadas del diseño defectuoso del mismo, que aumentan con el mal manejo que se le da al mismo por la falta de bases técnicas del personal.

Al no alcanzarse a desarrollar el potencial esperado en las actividades que realiza el personal, con el aprendizaje empírico, supone la creación de un manual que proporcione las herramientas suficientes para una adecuada capacitación que aumente el desempeño laboral y disminuya la dependencia de los operarios del superior inmediato al tener las suficientes bases técnicas para la toma de decisiones y capacidad de resolver problemas que se presenten en condiciones ordinarias de trabajo.

Al aumentar el conocimiento sobre el equipo, sistemas, subsistemas y de la producción en general, así como de los materiales utilizados y su comportamiento en cada fase del proceso, se ahorrará costos al evitar pérdidas de calor innecesarias y disminuyendo el tiempo para obtener el producto terminado.

El manual de inducción busca proporcionar un aprendizaje rápido y alcanzar un proceso de producción uniforme más tecnificado, exacto y eficiente, el aumento de la producción y el aumento en la calidad del producto terminado.

1 FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la empresa

Talleres Polanco es una empresa que proporciona una amplia gama de alternativas de domos y láminas de policarbonato para el techado traslucido que desde 1999 inició operaciones como distribuidor, haciendo uso del outsourcing para la fabricación de los trabajos requeridos. En el año 2000, la empresa adquiere la tecnología necesaria para la fabricación de sus productos, y a partir de esa fecha se procura la mejora constante de esta, de manera que la producción sea más eficiente, limpia y de mejor calidad, combinando materiales de alta calidad con la experiencia de nuestro personal para brindarles a nuestros clientes productos que cumplan con sus expectativas y mas.

La empresa está ubicada en la 7a Av. 23-54 Zona 12 Colonia la Reformita donde cuenta con las instalaciones propias para la producción y acabado de la amplia gama de productos termoformados, como también, almacenaje, diseño y construcción de moldes, departamento de mantenimiento y reparación.

1.1.1 Descripción del área de producción

El departamento de producción junto al de mantenimiento son los pilares fundamentales de la empresa Talleres Polanco, ya que en ellos radica la fuerza y solidez de la misma, debido a que se encuentran íntimamente ligados, pues al no existir un buen mantenimiento de los equipos, no podrá existir una producción continua que pueda satisfacer la demanda que se tiene día a día. Este departamento está formado por el personal que se dedica al manejo de materiales (control, transporte, etc.), así como de todos los equipos, accesorios e implementos que se necesitan para producir y dar los acabados necesarios a los domos y las láminas acrílicas entre otros productos de menor

comercialización; desde el abastecimiento de la materia prima, hasta el transporte que lleva el producto terminado a las obras donde se realizara la instalación.

En lo que respecta a la jerarquía de este departamento, el mismo es dirigido por un jefe, el cual coordina la producción que se necesita y el tiempo de entrega, ya que esta empresa trabaja por pedidos, ya que cada trabajo es, en la mayoría de los casos, diferente a otro y de medidas diferentes. Debido a ello se debe estudiar minuciosamente la cantidad de materiales que se deben tener en reserva, para que la producción no sea afectada. También debe coordinar con el departamento de mantenimiento para la verificación de todos los elementos que se utilizan en la producción, con el fin de evitar paradas que afectaran el buen desempeño de la misma.

Este departamento es el encargado de mantener una producción continua, coordinando de acuerdo a las obras que se tengan que realizar cada día, para que se pueda producir lo necesario, y en caso de emergencia puedan producir aun más.

1.1.2 Descripción básica de los productos

1.1.2.1 Domos

Talleres Polanco pone a disposición de sus clientes diversos estilos de domos fabricados con plástico acrílico de diferentes espesores y colores, para que puedan escoger el que más se adecue a su necesidad. Cualquier tipo de domo se acondiciona a todo tamaño de área.

- Tipo burbuja
 - Con uniones plásticas o metálicas
 - Simples montados sobre bordillos de concreto
 - Sobre estructuras metálicas

- Arco-cañón
- Piramidales
- Trapezoidales

1.1.2.2 Láminas de policarbonato

Talleres Polanco ofrece láminas de policarbonato irrompibles de diferentes perfiles, colores y espesores que pueden ayudar a la filtración controlada de luz, visite nuestro catálogo.

Lámina lisa: esta lámina ofrece protección contra rayos UV.

Lámina acanalada: esta lámina ofrece una protección contra rayos UV.

Lámina celular: esta lámina ofrece protección térmica y contra rayos UV.

Pérgolas

Talleres Polanco brinda el servicio de construcción de pérgolas trabajadas con madera curada, en fino acabado o crudas.

1.1.2.3 Herrería

En Talleres Polanco también ofrece el servicio de la construcción de estructuras metálicas estructurales, balconería, portonería, estanterías, para cualquier uso.

1.1.2.4 Plástico acrílico

En Talleres Polanco se pone al alcance una amplia gama de plástico acrílico de diferentes tonos y dimensiones, que se pueden adecuar a sus necesidades con grosores que varían desde 2 mm hasta 20 mm.

1.2 Principios del termoformado

1.2.1 Industria del termoformado

Desde principios del siglo XX se han conocido algunas técnicas del formado de láminas, con materiales como el metal, vidrio y fibras naturales. Los verdaderos principios del termoformado se dieron con el desarrollo de los materiales termoplásticos, lo cual fue durante la Segunda Guerra Mundial. Los años de posguerra trajeron los grandes volúmenes de comercialización y el rápido desarrollo de equipos y maquinaria capaces de adaptarse a los métodos modernos de manufactura, para producir productos más útiles y más rentables.

Durante los años cincuenta, los volúmenes de producción de materiales termoplásticos y los productos hechos con ellos alcanzaron cifras impresionantes. La década de los 60's fue una era que cimentó las bases del futuro desarrollando la industria del termoformado. En los 70's, los grandes consumidores y la competencia entre productos, demandaron máquinas de alta velocidad y productividad. Los productores de equipo satisficieron tales necesidades con máquinas capaces de producir cerca de cien mil contenedores individuales termoformados por hora. También hubo necesidad de sofisticar los controles.

Desde la década de los 80's hasta la fecha, los termoformadores han ganado tal confianza en su proceso, que han ido mas allá de sus expectativas y han establecido

líneas continuas capaces de producir artículos terminados termoformados a partir ya no de lámina, sino del pellet de resina; además de reciclar su desperdicio con un mínimo de control. Los equipos se han computarizado y hoy permiten un automonitoreo y funciones de diagnóstico. Actualmente, los equipos muy complicados no requieren más de una persona para su manejo y control gracias a los avances de la electrónica. Por lo anterior, se cree que el mercado de trabajo de la industria del termoformado experimentará una escasez de personal técnico entrenado y experimentado, ya que los conocimientos tradicionales ya no serían suficientes; por lo tanto, conferencias, seminarios, cursos, etc., servirían para incrementar el conocimiento general del termoformador, y darían mayor madurez a ésta bien cimentada industria.

1.2.2 Productos fabricados por termoformado

Muchos de los productos termoformados en uso, fueron hechos para reemplazar sus formas de uso original; esta situación se ha dado tan rápidamente que ya casi se ha olvidado cuales eran éstas; por ejemplo, no es fácil recordar en que se empacaban las hamburguesas antes de los empaques de una sola pieza de poliestireno o de que material se recubrían los interiores de los refrigeradores.

El listado que a continuación se proporciona, inicia con el producto de mayor número de piezas termoformadas producidas y va en orden descendente hasta el de menor producción.

1.2.2.1 Industria del empaque

Desde el inicio del proceso de termoformado, la industria del empaque ha sido la más beneficiada debido a la alta productividad y las bondades que ofrece por costo-beneficio.

Actualmente, la mayor parte de los equipos de empacado (blister) son de alimentación automática de alta velocidad. Estos equipos se denominan "forma-llenar-sella" y sirven para el empacado de cosméticos, carnes frías, refrescos, dulces, artículos de papelería, etc.

1.2.2.2 Industria de la comida para llevar

En la creciente industria de la "comida para llevar", existe una gran cantidad de productos termoformados utilizados, que abarca desde contenedores de comida completa (contenedores con divisiones) hasta los empaques para hamburguesas, sándwiches, refrescos, etc. Generalmente, la industria mencionada requiere una impresión en los paquetes termoformados. Esta impresión podría realizarse antes o después del termoformado; ejemplos de estos productos son charolas, vasos, contenedores de sándwiches, hamburguesas, hot dogs, etc.

1.2.2.3 Industria del empaque para alimentos

Los supermercados son los grandes usuarios de contenedores termoformados. Los materiales utilizados son termoplásticos de bajo costo. Estos contenedores están diseñados para ser apilados o acomodados en diferentes formas. Ejemplos: contenedores para carne, frutas, huevo, verduras.

1.2.2.4 Transporte

El transporte público y privado como el camión, tren, metro, avión, automóvil, etc., cuenta dentro de su equipo con numerosas partes de plásticos termoformados; la mayoría de estos son usados para el acabado de interiores o partes externas que no sean

estructurales. Entre otros: asientos, respaldos, descansabrazos, vistas de puertas, mesas de servicio, parabrisas, protectores de instrumentación, guardas, spoilers, etc.

1.2.2.5 Señalización y anuncios

Son fabricados generalmente en acrílico y pueden ser de una sola pieza y de grandes dimensiones. En estos anuncios o señalizaciones, usualmente se emplea acrílico transparente (cristal) y el color es pintado por el interior con pinturas base acrílica.

El uso del acrílico en exteriores hace que los anuncios sean resistentes a la intemperie y virtualmente libres de mantenimiento, además de soportar condiciones extremas de frío o calor. Como ejemplos de éstos se tienen los anuncios luminosos exteriores, interiores, señalamientos en lugares públicos, oficinas, etc.

1.2.2.6 Artículos para el hogar

Existe una gran cantidad de artículos para el hogar que tienen partes termoformadas; de hecho, son producciones de alto volumen. Se encuentran, por ejemplo, en gabinetes, lavadoras, lavaplatos, secadoras de ropa, refrigeradores, ventanillas de aire acondicionado, humidificadores, gabinetes de televisión y radio, etc.

1.2.2.7 Industria alimenticia

Uno de los más antiguos y mayores consumidores de productos termoformados, es la industria alimenticia. El uso de charolas y otros accesorios tienen un potencial de consumo mayor puesto que, además de los grandes usuarios como son hospitales, guarderías, escuelas, ferias y otros, se agregan el sector militar y organizaciones de ayuda internacional. Ejemplos: charolas, vasos y platos.

1.2.2.8 Industria médica

La industria médica requiere de una gran variedad de productos y empaques esterilizados para hospitales, clínicas y consultorios. Las especificaciones de estos productos suelen ser muy estrictas y el uso del reciclado de materiales, es inaceptable.

El uso del acrílico, por ser un material fisiológicamente inocuo, se está incrementando día con día. Ejemplos: equipo quirúrgico, jeringas y agujas, mesas quirúrgicas, gabinetes, incubadoras, sillones dentales y plataformas de ejercicio, etc.

1.2.2.9 Agricultura y horticultura

La comercialización de plantas de ornato en supermercados y tiendas especializadas ha generado desde hace tiempo, la necesidad de fabricar macetas 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. Como ejemplos se pueden citar: macetas, contenedores de diferentes tamaños de una o varias cavidades, pequeños invernaderos, charolas para crecimiento de semillas, contenedores para siembra, etc.

1.2.2.10 Construcción y vivienda

La industria de la construcción ha empleado productos termoformados desde hace varios años, acelerándose rápidamente la popularidad de éstos. Hay una gran cantidad de productos que fácilmente se han sustituido por piezas termoformadas; de hecho, hay productos que no se podrían fabricar de otra forma, como los domos o arcos cañón. El acrílico en este sector se ve ampliamente utilizado por sus propiedades de resistencia a la intemperie y termoformabilidad.

Ejemplos de estos son: domos, arcos cañón, tinas de hidromasaje, módulos de baño, lavabos, cancelería para baños, mesas, sillas, bases para lámparas, artículos de cocina, relojes, fachadas, escaleras, divisiones, ventanería, acuarios, etc.

1.2.2.11 Equipaje

Algunas empresas fabricantes de equipaje, están optando por usar el proceso de termoformado puesto que presenta ventajas sobre los productos por inyección, ya que por ser un moldeo libre de esfuerzos, se reducen las posibilidades de fracturas en los equipos de las piezas termoformadas. Ejemplos: maletas de todo tipo, portafolios, etc.

1.2.2.12 Equipo fotográfico

Uno de los productos más antiguos en el termoformado, son las charolas para revelado, además de los cubos para flash (el reflector metálico) y el magazine para cámaras de piso, aún cuando su producción requiere una técnica de termoformado de precisión.

1.3 Polímeros adecuados para el termoformado

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 el H.D.T (temperatura de deformación térmica), el comportamiento del material tenderá a volverse en un estado ahulado, teniendo como valor crítico la temperatura de revenido del polímero termoplástico. Esto puede observarse en el rápido pandeo de la hoja calentada, cuando la fuerza de gravedad se vuelve suficiente para causar esta deformación. La Tabla I contiene los

polímeros adecuados y más comunes para el termoformado, así como su temperatura de formado.

Tabla I. Polímeros y temperatura de formado

POLIMEROS	TEMPERATURA DE DEFLEXIÓN AL CALOR			TEMPERATURA DE TERMOFORMADO		
	A 264 PSI (°C)	A 66 PSI (°C)	SIN CARGA (°C)	TEMP. DE LA HOJA (°C)	TEMP. DEL MOLDE (°C)	TEMP. DE AYUDA (°C)
Acrílico extruido	94	98		135-175	65-75	
Acrílico cell-cast	96	110		160-180	65-75	
Acetobutirato de celulosa	65-75	75-80	120-150	140-160		
Polietileno de alta densidad		60-80	100	145-190	95	170
Polipropileno	55-65	110-115	140	145-200		
Poliestireno	70-95	70-100	100	140-170	45-65	90
Poliestireno alto impacto	85-95	90-95	120	170-180	45-65	90
SAN	100	105		220-230		
ABS	75-115	80-120	95	120-180	70-85	90
Polivinilo de cloruro (RV.C.)	70	75	110	135-175	45	80
Policarbonato	130	140	160	180-230	95- 120	140

1.3.1 Propiedades térmicas

Uno de los aspectos que menos se toma en cuenta en la práctica del termoformado, es el de las propiedades térmicas de los polímeros, siendo éste uno de los aspectos más relevantes y críticos del proceso. La cabal comprensión de estos factores disminuirá el riesgo de largas corridas de pre-producción o la mala adecuación del producto al entorno.

Al hablar de propiedades térmicas es indispensable establecer los conceptos relacionados a este tema. En primer lugar, es necesario recordar que la energía es frecuentemente disipada a través de la fricción y entonces aparece en forma de calor o de la energía térmica interna de un cuerpo. Desde luego algunas veces en forma deliberada

se incrementa el calor a una sustancia para cambiar su temperatura o para alterar su forma.

El calor específico y la conductividad térmica son dos de las propiedades físicas de los polímeros que se usan extensivamente en el termoformado.

1.3.2 Temperatura

En el debate del fenómeno térmico es indispensable incluir algunos términos y conceptos. La primera de estas propiedades térmicas es la temperatura. La temperatura es una medida del grado de "calor" o "frío" de un objeto. Siendo indispensable establecer una escala de temperatura, se tomó como parámetro las propiedades del agua, en particular el punto de fusión del hielo y el punto de ebullición del agua. Existen tres escalas para medir la temperatura de una sustancia, la escala en grados centígrados (°C), Fahrenheit (°F) y Kelvin (°K), siendo las primeras dos, las más utilizadas.

1.3.3 La medición del calor

El calor es simplemente una de las formas de energía y por eso la unidad física apropiada para medir el calor es la misma que para la energía mecánica y esta es el joule. Como en el mismo caso de las escalas de temperatura, el agua es usada como parámetro de sustancia para la definición de la unidad de calor. La cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de 1 kg. de agua en un grado (actualmente se toma como 14.5 °C a 15.5 °C) es definida como una caloría (cal.).

1.3.4 Calor específico

Cuando una caloría es suministrada a 1 kg. de agua, la temperatura del agua se incrementará un grado, por ejemplo, si la misma cantidad de calor es suministrada a la

misma masa de alcohol metílico, la temperatura se incrementará en aproximadamente a 1.7 grados, o si una cal. es suministrada a 1 kg. de aluminio, la temperatura del metal se incrementará unos 5 grados. De hecho cada sustancia responderá en diferente grado cuando se somete a calor. La cantidad de calor requerido para elevar 1 kg. de una sustancia en un grado es denominado calor específico de esa sustancia. El agua sirve como parámetro y se ha determinado como 1 cal./kg., tomándose como base para comparar con todos los materiales. Con excepción del agua, la mayor parte de los materiales tienen un calor específico más bajo que los plásticos.

1.3.5 Conductividad térmica

La conductividad térmica es una de las tres formas por la cual la energía calorífica puede ser transferida de un lugar a otro; tiene lugar como resultado del movimiento molecular y por lo tanto, requiere de la presencia de materia. La energía calorífica es transferida por colisiones en donde el rápido movimiento de átomos y moléculas del objeto más caliente pasa parte de la energía al objeto más frío o con movimiento más lento de átomos y moléculas. Cuando una sustancia es calentada se expande, el calor provoca que el volumen de una sustancia se incremente y que su densidad disminuya. La conductividad térmica del acrílico es de 5×10^{-4} cal./seg. cm^2 .

1.3.6 Expansión térmica

La expansión térmica es el resultado de incrementar la temperatura de una sustancia, y como consecuencia esta se expande, de hecho; casi todas las sustancias, sólidos, líquidos o gases tienen la propiedad de incrementar su tamaño, cuando se eleva su temperatura. En lo que se refiere al termoformado, cuando un polímero es calentado se incrementa la movilidad de las cadenas moleculares, por lo tanto tienden a separarse unas con respecto a otras, aumentando el volumen y área del polímero. Esta propiedad es de suma importancia sobre todo en piezas termoformadas que están expuestas a

cambios bruscos de temperatura o intemperismo. En el termoformado la hoja de plástico se expande más rápido que el marco metálico, provocando arrugas cercanas al marco, estas arrugas desaparecerán cuando la hoja se contraiga. Los valores numéricos de los coeficientes para el calentamiento y enfriamiento son idénticos; esto quiere decir que toma el mismo tiempo para calentarse que para enfriarse. Hay que tomar en cuenta que se pueden presentar problemas cuando las partes termoformadas deban estar dentro de una tolerancia dimensional muy cerrada, otro tipo de problemas se puede presentar, cuando el encogimiento ocurre en un molde macho, dificultándose desmoldar la parte. El coeficiente de expansión térmica del acrílico es de 9×10^{-5} cm./cm./°C.

1.4 Lámina acrílica

1.4.1 Lámina acrílica de uso general

1.4.1.1 Características

El polímero termoplástico del metacrilato de metilo, tiene una estructura molecular de tipo lineal y amorfo, que no forma enlaces transversales. El acrílico es un material termoplástico utilizado en aplicaciones donde se requiere estabilidad a la intemperie, alta transmisión de luz, peso ligero, resistencia a ciertos agentes químicos y estabilidad de color.

1.4.1.2 Disponibilidad

La lámina acrílica es fabricada por el proceso de vaciado en moldes, siendo el método más común y flexible para obtener una amplia gama de láminas de diversos grados, espesores, tamaños y colores.

La lámina acrílica se fabrica para aplicaciones de uso general, para uso interior y exterior, lámina para formado profundo con propiedades superiores en cuanto a termoformabilidad, resistencia química y al desgaste, además de la lámina acrílica con propiedades de impacto superiores a las de cualquier acrílico impacto.

Los productos se encuentran disponibles en una gama de más de ochenta colores como son transparentes, translúcidos, opacos, marmoleados, fluorescentes, perlescentes y acabado mate.

1.4.1.3 Propiedades físicas de lámina acrílica

Tabla II. Propiedades físicas de lámina acrílica

PROPIEDAD*	MÉTODOS DE PRUEBA ASTM	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	UNIDAD
ÓPTICAS					
Peso específico	D792-64T		1.19		1.19
Poder de dispersión			0.0174		0.0174
Índice de refracción	D542-50	ND	1.49	ND	1.49
Trans. de luz (Cristal)	D1003-61	%	92	%	92
Trans. de luz UV a 320 mu		%	5	%	5
Haze	D1003-61	%	3	%	3
MEÁNICAS					
Resistencia a la tensión	D638-64T		700-760	PSI	10,000-11,000
Ruptura		Kg/cm ²			
Módulo de elasticidad		Kg/cm ²	28,000-30,000	PSI	4 E 5-425 E 3
Elongación a la ruptura		%	4.5	%	4.5
Resistencia a la flexión	D790-63				
Ruptura		Kg/cm ²	1,050- 1,125	PSI	15,000-16,000
Módulo de elasticidad		Kg/cm ²	28,000	PSI	400,000
Resist. a la compresión	D780-63T	Kg/cm ²	1,260	PSI	18,000
Resist. a esfuerzo cortante	D732-46	Kg/cm ²	630-700	PSI	9,000-10,000
Resistencia al impacto	D256-56	Kg/cm ²			
Charpy		Kg/m	0.48	ft/lbs.	35
Izod		Kg-cm/cm	3 x 10 ⁴	ft. lbs./in	0.4-0.5
Dureza (rockwell)	D785-62		M-100		M-100
TÉRMICAS					
Temperatura de formado		°C	140-180	°F	280-360
Coefficiente de expansión	D696-44	cm/cm/°C	9 x 10 ⁻⁵	in/in/°F	4 x 10 ⁻⁵
Coefficiente de expansión X volumen		°C	2.7x10 ⁻⁴		
Temp. máxima de servicio		cal/seg. cm ²	80	°F	176
Conductividad térmica		cm/min.	5x10 ⁻⁴	BTU/hr. ft. ²	14
Flamabilidad	D-635	cal/gr°C	3	in/min.	1.2
Calor específico			0.35	BTU/lb. °F	0.35
ELECTRICAS					
Resistencia dieléctrica	D149-61	Kvolt/mm	20	volt/mil	500
Constante dieléctrica	D150-59T				
60 ciclos			4		4
10 ² ciclos			4		4
10 ⁶ ciclos			3		3
Resistencia al arco	D495-61		sin huella		sin huella
Resistencia (volumen)	D257-66	ohm-cm	1.6 x 10 ¹⁶	ohm-cm	1.6 x 10 ¹⁶
Resistividad (superficie)	D257-66	ohm	1.9 x 10 ¹⁵	ohm	1.9 x 10 ¹⁵

* Determinación con muestras de 3.0 mm de espesor.

Estos valores son típicos y de carácter informativo y no representan ninguna especificación.

1.4.1.4 Propiedades químicas de lámina acrílica

Tabla III. Propiedades químicas de lámina acrílica

SUSTANCIA QUÍMICA	CLAVE	SUSTANCIA QUÍMICA	CLAVE
Ácido acético (10%)	RL	Peróxido de hidrógeno	R
Ácido acético	N	Alcohol isopropílico	RL
Acetona	N	Keroseno	R
Cloruro de amonio	R	Thinner	N
Hidróxido de amonio	R	Alcohol metílico (30%)	RL
Benzeno	N	Alcohol metílico (100%)	N
Cloruro de calcio	R	Metil etil cetona	N
Tetracloruro de carbono	RL	Cloruro de metileno	N
Cloroformo	N	Ácido nítrico (10%)	R
Ácido crómico (10%)	RL	Ácido nítrico (100%)	N
Ácido crómico (concentrado)	N	Fenol (5%)	N
Éter	N	Cloruro de sodio	R
Diocilpftalato	RL	Hidróxido de sodio (10%)	R
Acetato de etilo	N	Hidróxido de sodio (60%)	R
Alcohol etílico (30%)	RL	Hipoclorito de sodio	R
Alcohol etílico (95%)	N	Ácido sulfúrico (3%)	R
Dicloroetileno	N	Ácido sulfúrico (con.)	N
Etilenglicol	R	Tolueno	N
Gasolina	RL	Tricloroetileno	N
Glicerina	R	Terpentina	R
Hexano	R	Agua destilada	R
Ácido clorhídrico	R	Xileno	N

La clave es usada para describir la resistencia química como sigue:

R = Resiste

El acrílico resiste esta sustancia por largos períodos y a temperatura de hasta 49°C (120°F).

RL = Resistencia limitada

El acrílico resiste solamente la acción de esta sustancia por cortos períodos a temperatura ambiente.

N = No resiste

El acrílico no resiste esta sustancia. Puede hincharse, disolverse, atacarse o dañarse de alguna manera.

Estos valores son típicos y de carácter informativo y no representan ninguna especificación.

1.4.1.5 Protecciones

Para protección, facilidad de manejo y de acuerdo a las necesidades de maquinado de la lámina acrílica, se tienen cuatro diferentes tipos de protección:

1.4.1.5.1 Papel tipo Kraft

Esta protección es aplicada en ambas caras de la lámina para protegerla contra daños que pudiera sufrir durante su transporte, manejo, almacenaje y transformación. Por su alta resistencia esta protección es recomendada para procesos de transformación muy largos. Además, permite efectuar trazos con marcador, lápiz o crayón.

1.4.1.5.2 Película antiestática

Esta es una protección menos resistente que el papel, a base de una película plástica antiestática transparente la cual es aplicada en ambas caras de la lámina para protegerla de daños que pudiera sufrir durante el transporte, manejo, almacenaje y maquinado.

1.4.1.5.3 Película plástica adhesiva

Esta protección plástica transparente es recomendada para largos procesos de maquinado ya que por su alta resistencia permite que la lámina quede protegida durante los diferentes procesos de manufactura, presentando una resistencia al transporte, manejo y almacenaje similar a la de la protección de kraft.

1.4.1.5.4 Película termoformable

Esta protección plástica termoformable (transparente) es aplicada en una cara de la lámina; resulta ideal para la manufactura de productos termoformados con gran profundidad (tinas de baño), permite una protección durante el transporte, manejo, almacenaje y transformación similar a la de la película plástica adhesiva. Su uso se recomienda en hornos de gas con circulación forzada de aire y temperaturas entre 180°C – 200°C.

La lámina acrílica se ofrece con protección estática en ambas caras, en espesores de 1.5 hasta 6.0mm y con protección de papel kraft en espesores de 8.0 a 32.0mm., sin embargo se puede utilizar cualquier tipo de protección según se necesite.

1.4.2 Lámina acrílica de formado profundo

1.4.2.1 Características

Es un polímero termoplástico de metacrilato de metilo, parcialmente reticulado con excelentes propiedades de termoformado, resistencia química a solventes, resistencia al desgaste y al manchado, lo que lo hace que sea un material con mayores posibilidades en el diseño y fabricación de muebles de baño, spas, partes automotrices y aplicaciones en general en donde la parte termoformada es reforzada con fibra de vidrio.

La lámina acrílica de formado profundo presenta propiedades superiores de termoformado que la lámina acrílica de uso general y uso en interiores. Entre las ventajas que este material presenta sobresale el que puede ser formado más 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.

Tabla IV. Resistencia química de la lámina acrílica de moldeo profundo

SUBSTANCIA QUÍMICA	
Nafta	Peróxido de hidrógeno (3%)
Alcohol etílico	Hipoclorito de sodio (con.)
Acetato de amilo	Fenol (5% en agua)
Solución de amoníaco (10%)	Tolueno
Solución de ácido cítrico (10%)	Acetato de etilo
Urea (6.0%)	Acetona

Tabla V. Propiedades de la lámina de moldeo profundo

TIPOS	PROPIEDADES	VALOR	UNIDAD	MÉTODO
Generales	Tamaño	180 X 120	cm.	PG 60POE-03-02B PG 60POE-03-02B
		180 X 180	cm.	
	Espesor 180 X 120 cm.	4 +- 0.4	mm.	
	180 X 180 cm.	4 +- 0.8	mm.	
Mecánicas	Resistencia a la tensión (min.)	9200	pis	ASTM D638
	Elongación a la ruptura (min.)	4	%	ASTM D638
	Dureza Barcol (min.)	48	No. Barcol	ASTM D2538
	Impacto Izod ranurado	0.44	lb-ft/pulg ²	ASTM D256
Térmicas	Temperatura de formado	180-200	°C	ASTM D648 P MIL-8184 ASTM D635 UL-94
	Temperatura de deformación bajo carga a 264 pis (°C)	87	°C	
	Conductividad térmica	1.4	BTU/hr. ft ²	
	Estabilidad térmica (dos horas a 180° C)	No evidencia de degradación		
	Índice de flamabilidad	0.6	in/min	
	Grado de flamabilidad	94	HB	
Varios	Resistencia química	Pasa prueba		ANSI Z 124.1
	Resistencia al cigarrillo	Pasa prueba		ANSI Z 124.1
	Resistencia a la luz UV (mil horas, arco de carbón)	Sin degradación		ANSI Z 124.1
	Retención de impacto (720 horas arco de carbón)	100	%	UL 1563
	Absorción de agua	0.33	%	ASTM 570
	Resistencia al manchado	Pasa prueba		ANSI Z 124.1

Todos los valores están referidos a la lámina acrílica 3.0 mm.

Estos valores son típicos y de carácter informativo y no representan ninguna especificación.

1.4.2.2 Propiedades físicas

La lámina acrílica tiene excelentes propiedades mecánicas y de retardancia a la flama, tomando en consideración que la lámina acrílica de uso general tiene una velocidad de

quemado en prueba horizontal (ASTM-D635) de 25-30.4 mm/min.; la lámina acrílica de formado profundo tiene 15.2 mm/min. La tabla IV resume las propiedades típicas de este material.

1.4.2.3 Propiedades químicas

La lámina acrílica de formado profundo, además de resistir a las sustancias químicas que se enlistan en la Tabla IV; aprueba la norma ANSI-Z124.2.1980.

1.4.2.4 Manejo y protección

Para la protección y manejo de la lámina de moldeo profundo, ésta se presenta con tres tipos de protección:

Tipo PJ: Papel protector tipo kraft, adherido a ambas caras de la lámina. Protege contra daños que pudieran causarse durante su transporte, manejo, almacenaje y maquinado. Este papel permite poder trazar sobre él con un marcador, lápiz o crayón, facilitando así las operaciones posteriores.

Tipo PP: Es una protección menos resistente que el papel, a base de una película plástica estática, que también resiste los daños que pudiera sufrir el material durante el transporte, manejo, almacenaje y maquinado.

Tipo PF: Película plástica termoformable (incolora por una cara), ideal para productos termoformados, con una resistencia al transporte, manejo, almacenaje y transformación igual al tipo PJ. Por sus características, es ideal en la fabricación de piezas termoformadas con profundidad (tinas de baño). Su uso se recomienda en hornos de gas con recirculación forzada de aire y temperaturas entre 180° C y 200° C.

1.4.2.5 Certificación del material

La lámina acrílica de formado profundo ha sido sometida a pruebas de certificación de calidad en laboratorios especializados, de acuerdo a las normas ANSI-Z 124.2.1980 para tinas de baño fabricadas con materiales plásticos, y UL-94; pasando las pruebas de resistencia al cigarrillo y al desgaste. Después de mil horas de exposición en un intemperómetro de arco de carbón, la lámina no presentó cambio de apariencia o color, conservando su resistencia al impacto en un 100%.

1.4.2.6 Ciclos de termoformado

En el proceso de termoformado de la lámina acrílica, la temperatura es el factor más importante; por lo que ésta deberá controlarse cuidadosamente. Bajas temperaturas ocasionan esfuerzos internos excesivos en la pieza formada, disminuyendo su resistencia y tornándose susceptible a la deformación y al craqueo. Altas temperaturas pueden provocar que el material se ampolle (hierva), reduciendo su resistencia al rasgado durante el formado, también pueden producirse marcas del molde.

El rango de temperatura adecuado para el termoformado de la lámina de formado profundo, está entre los 180° C y 200° C. El tiempo que debe someterse el material a calentamiento, depende del espesor de la lámina, equipo de calentamiento y el tipo de formado que se empleen. El equipo de calentamiento recomendado para el termoformado de la lámina de formado profundo es en un horno con recirculación forzada de aire, puede utilizarse gas o resistencias eléctricas, y un buen control de temperatura y de tiempo. Considerando que este material tiene un espesor de 3.2 mm., se sugiere que permanezca dentro del horno a la temperatura indicada durante un periodo de ocho a diez minutos para obtener el reblandecimiento más adecuado. Si el material es colgado dentro del horno en forma vertical, el calentamiento será más homogéneo y, por consiguiente, el formado más detallado. No debe esperarse una mejor distribución del

espesor, lo cual sólo puede ser controlado utilizando ayuda mecánica o pantallas que permitan la distribución controlada de la temperatura por áreas. El mejor ciclo de formado, temperaturas, tiempos y técnicas para cada tipo de pieza, deberá ser determinado en cada equipo en particular, revisando la lámina hasta que esté perfectamente reblandecida, esto se puede determinar cuando la lámina se agita y se forman pliegues uniformes a lo largo de la superficie.

1.5 Calentamiento de plásticos

1.5.1 Transferencia de calor:

En el proceso de termoformado, la operación de calentamiento es una de las etapas que emplea más tiempo y en la que se pueden presentar las mayores dificultades, ocasionando el mal aprovechamiento de recursos materiales y humanos. Es por eso, que este capítulo está dedicado a la transferencia de calor, teniendo como objetivo el tratar de aclarar los fenómenos que se presentan en la operación del calentamiento de plásticos.

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.

1.5.1.1 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.

1.5.1.2 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, que es la que nos interesa, 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.

1.5.1.3 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, éstos son:

- a) Contacto con un sólido, líquido o gas caliente.
- b) Radiación infrarroja.
- c) Excitación interna o por microondas.

Los dos primeros son muy empleados en el termoformado de plásticos y para varios de ellos el rango de temperatura es entre 120° C y 205° C (250° F y 400° F).

1.5.2 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. En la Tabla VI

se enlistan algunas propiedades térmicas de algunos materiales para su comparación. En el termoformado de plásticos es importante tomar en consideración la elección del método de calentamiento y el tamaño del equipo de calentamiento.

El calentamiento de la hoja por ambos lados (calentamiento tipo sándwich) ayuda a disminuir el tiempo empleado en esta operación. En algunos casos, el tiempo de calentamiento puede ser reducido si la hoja es precalentada y mantenida en una temperatura intermedia, sin embargo, esto rara vez se emplea en materiales de menos 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, se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Calor Requerido} = \text{Largo} \times \text{Ancho} \times \text{Espesor} \times \text{Densidad del Material} \times (\text{Calor específico} \times \text{Diferencia de temperatura} + \text{Calor de fusión})$$

Tabla. VI. Propiedades térmicas de algunos materiales

MATERIALES	GRAVEDAD ESPECÍFICA g/cm ³	CALOR ESPECÍFICO BTU/lb°F	CALOR DE FUSIÓN BTU/lb	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Btu ft/sq ft hr °F	COEFICIENTE TÉRMICO DE EXP. LINEAL in/in °F10 ⁻⁵
Aire	0.0012	0.24		0.014	
Agua	1	1	144	0.343	
Hielo	0.92	0.5	144	1.26	2.8
Madera suave	0.5	0.4		0.052	1.5
Madera dura	0.7	0.4		0.094	1.5
R. fenólicas	1.5	0.3		0.2	3-5
R. epóxicas	1.6-2.1	0.3		0.1-0.8	1.5-2.8
Polietileno	0.96	0.37	55	0.28	7
Acrílico	1.19	0.35		0.108	3.5
Policarbonato	1.2	0.30		0.112	3.7
Grafito	1.5	0.20		87	0.44
Vidrio	2.5	0.20		0.59	0.5
Cuarzo	2.8	0.20		4 y 8	0.4 y 0.7
Aluminio	2.7	0.23	171	90	1.35
Acero	7.8	0.10	171	27	0.84
Cobre	8.8	0.092	88	227	0.92

1.5.3 Medios de transmisión de calor

Para efectos prácticos vamos a dividir los medios de transmisión de calor en cuatro tipos y que son:

1.5.3.1 Calentamiento por contacto

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

1.5.3.2 Calentamiento por inmersión

Este método 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.

1.5.3.3 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 del equipo.

1.5.3.4 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.
- Resistencias cerámicas o metálicas que emiten mayor energía y en el lejano infrarrojo.

La superficie de estos calentadores por radiación puede estar entre los 315°C 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. Solo la radiación absorbida se utiliza para calentar el plástico directamente.

1.5.3.5 Calentamiento interno

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 P.V.C.

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 estos casos especiales, controlando el calentamiento por secciones dará zonas de pared más uniformes. Este procedimiento se llama sombreado o empantallado, y consiste en colocar un filtro no flamable que regule el calor (una malla de alambre, asbesto; etc.) entre la lámina y la fuente de calor, con esto 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.

1.5.4 Temperaturas y ciclos de formado

Antes de iniciar con las temperaturas y ciclos de formado, se establecerán ciertos términos como son:

- a) Temperatura de desmoldeo
- b) Límite inferior de operación
- c) Temperatura normal de formado
- d) Límite superior de operación

1.5.4.1 Temperatura de desmoldeo

Temperatura a la cual la pieza puede ser removida del molde sin distorsionarse. En ocasiones, se puede remover a mayores temperaturas si se utilizan dispositivos de enfriamiento.

1.5.4.2 Límite inferior de operación

Este representa la temperatura más baja a la que el material puede ser formado sin crear esfuerzos internos. Esto significa que la lámina plástica debe tocar cada esquina del molde antes de que alcance su límite más bajo. El material que se procesa abajo de este límite presentará esfuerzos internos que posteriormente causarán distorsiones, pérdida de brillo, craqueo u otros cambios físicos en el producto terminado.

1.5.4.3 Temperatura normal de formado

Es la temperatura a la cual la lámina deberá ser formada en una operación normal. Esta temperatura deberá alcanzarse en toda la lámina. 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.

1.5.4.4 Límite superior de operación

Es la temperatura en la cual la lámina termoplástica comienza a degradarse, así también, se torna demasiado fluida y no se puede manipular. Estas temperaturas se pueden exceder, pero solamente con formulaciones modificadas que mejoren las propiedades físicas de la lámina. El moldeo por inyección y extrusión utiliza, de hecho, temperaturas mucho más altas, pero sólo por periodos de tiempo muy cortos.

1.5.4.5 Recomendaciones generales

- a) Las características del producto terminado serán determinadas por el tipo de técnica de termoformado que se aplique.
- b) El material debe ser calentado uniformemente al punto de revenido y formado, antes de que se enfríe por debajo de su temperatura de moldeo.
- c) El acrílico debe de enfriarse lenta y uniformemente mientras está en el molde.
- d) La pieza formada debe de enfriarse antes de darle cualquier acabado, como pintura por aspersion o serigrafía.
- e) En el diseño de la pieza debe tomarse en consideración un encogimiento del 2% en ambas direcciones y un aumento del 4% en el espesor, así como una contracción del 0.6% al 1% al enfriar.

1.5.4.6 Temperaturas y ciclos de formado

Como ya se mencionó con anterioridad, uno de los pasos más importantes en el proceso de termoformado, es la determinación de la temperatura correcta en el material. En el acrílico, una adecuada selección de la temperatura de revenido o temperatura normal de formado, evitará que:

A baja temperatura: Se concentren esfuerzos internos en la pieza termoformada que, posteriormente, con cambios bruscos en la temperatura ambiente se revelan en forma de fisuras o craqueo.

A alta temperatura: En la pieza se produzcan burbujas y marcas de molde, por un excesivo calentamiento.

En la Tabla VII se definen los rangos de temperatura para la lámina acrílica de uso general y la lámina de moldeo profundo.

Tabla VII. Rangos de temperatura

TIPO DE MATERIAL	RANGO DE TEMPERATURA	
	LÍMITE INFERIOR (°C)	LÍMITE SUPERIOR (°C)
Lámina acrílica (Uso general)	160	180
Lámina acrílica (Moldeo profundo)	180	200

En la mayoría de países, 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 láminas de uso general 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.

1.5.4.7 Temperaturas de formado

Todos los materiales termoplásticos tienen una temperatura específica de proceso. Estos rangos aplican sin tomar en cuenta como va a ser procesado el material. A continuación se enlistan los materiales más utilizados comparados con el acrílico:

Tabla VIII. Rangos de temperatura de formado

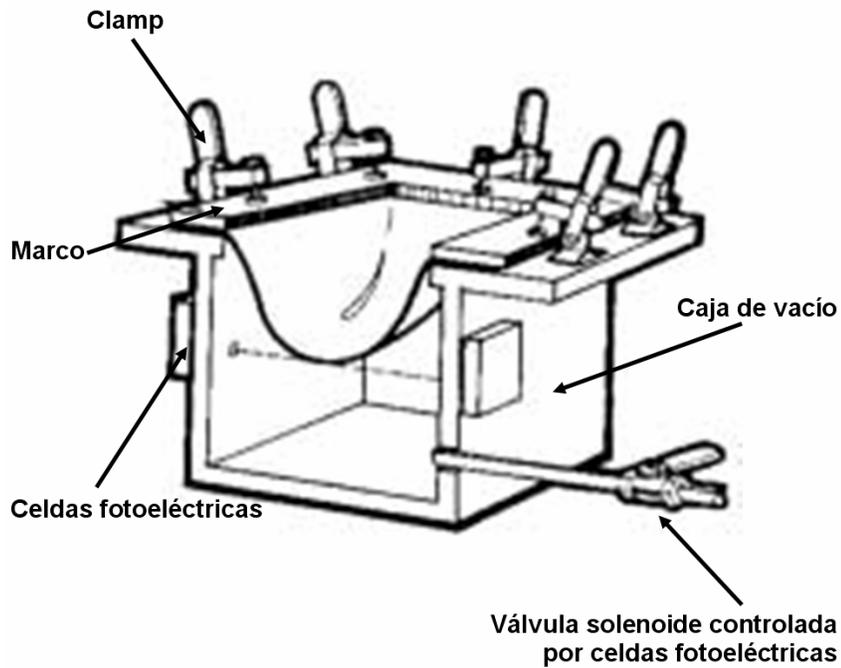
MATERIAL	TEMP. DE LA HOJA (°C)	LÍMITE INFERIOR (°C)	NORMAL (°C)	LÍMITE SUPERIOR (°C)	TEMP. DE DESMOLDEO (°C)	TEMP. DEL MOLDE (°C)	TEMP. DE LA AYUDA MEC. (°C)
Acrílico de uso general	160- 180	160	170	180	120	65-75	
Acrílico de formado prof.	180-200	180	190	200	130	70-80	
ABS	125-180	125	165	180	85	70-85	100
Polycarbonato	200-250	200	235	250	140	90-120	140
Polietileno AD	160-220	160	190	220	85	90-100	170

1.5.5 Determinación de la temperatura correcta en el material

Otro de los factores importantes en el proceso de termoformado, es la determinación de la temperatura correcta en el material plástico. Se debe considerar que, independientemente del medio 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 que sirve 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.

Figura 1. Fenómeno del “cede” o “pandeamiento”.



Fuente: D. H. Morton-Jones, Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldeo, hule, PVC, pág. 65

Sin embargo, este criterio no puede ser aplicado indiscriminadamente a todos los plásticos, ya que algunos materiales pueden sobrecalentarse antes de empezar a ceder o pandearse. 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) Fluctuaciones 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 este último está tapado con hollín, etc.

Existen pirómetros en forma de cono, tablillas para calentamiento por radiación infrarroja 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 infrarroja, 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.

1.6 Técnicas de termoformado

El termoformado es el proceso más simple y generalizado para transformar la lámina de acrílico. Siendo un material termoplástico se reblandece y se maneja fácilmente pudiendo tomar cualquier forma cuando se ha calentado a la temperatura y tiempo adecuados.

Al enfriarse recobra su rigidez y conserva la forma a la que fue sometido. El costo del equipo y moldes es relativamente bajo y se pueden obtener formas bi o tridimensionales por medio de una amplia variedad de procesos.

1.6.1 Termoformado bidimensional

El formado bidimensional es un proceso de doblado que se puede conseguir por dos métodos:

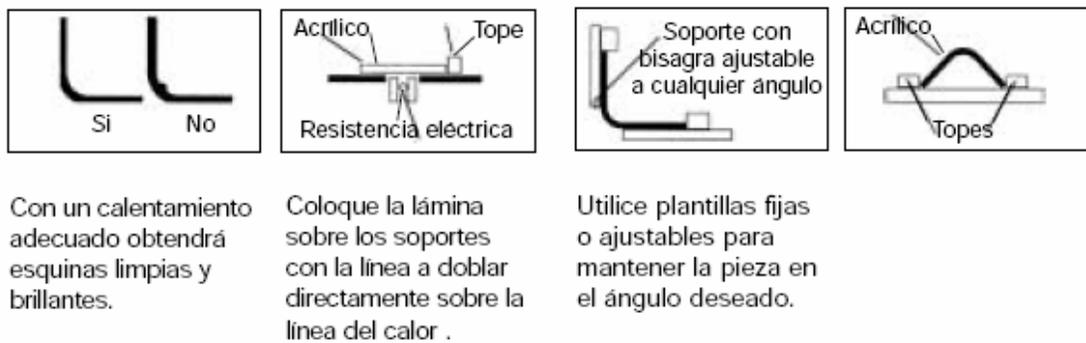
1.6.1.1 Doblado por calentamiento lineal

Sobre una resistencia lineal se calienta lámina acrílica, doblando al ángulo deseado. Para proceder al doblado, remueva el papel protector de la línea de doblez (puede dejarse el resto del papel para proteger las áreas donde no se va a trabajar), luego coloque la lámina sobre los soportes con la línea a doblar directamente sobre la línea de

calor, haciendo el doblado por el lado calentado. El tiempo de calentamiento varía según el espesor de la lámina. Para doblar lámina de acrílico de espesor mayor a 4.0 mm es recomendable calentarla por ambos lados para lograr un doblado adecuado. Calienta la lámina hasta que se empiece a reblandecer en la zona de doblado. No intente doblar la lámina antes de que esté bien calentada, esto puede ocasionar esquinas irregulares o plegadas.

Calentar cuidadosamente; un calentamiento irregular puede causar arqueado en la línea de doblado. A veces esto es difícil de evitar, especialmente en piezas de longitudes mayores a 60 cm. El arqueado puede ser disminuido sujetando el material recién formado con unas pinzas o una plantilla hasta que se enfríe. Las plantillas pueden hacerse de madera, fijas o ajustables.

Figura 2. Arqueo disminuido en la línea del doblado, utilizando pinzas



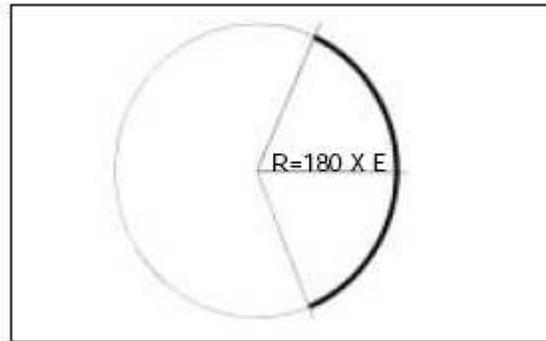
Fuente: D. H. Morton-Jones, *Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldeo, hule, PVC*, pág. 69

1.6.1.2 Formado en frío

La lámina acrílica puede ser formada en frío en marcos curvos, siempre que el radio de la curvatura sea 180 veces mayor que el espesor del material utilizado.

Formula: R (radio) = $180 \times E$ (espesor del material en mm.)

Figura 3. Fórmula para el radio de curvatura.



Fuente: Ramos del Valle, Luis Francisco. Extrusión de plásticos : principios básicos. Pág. 24

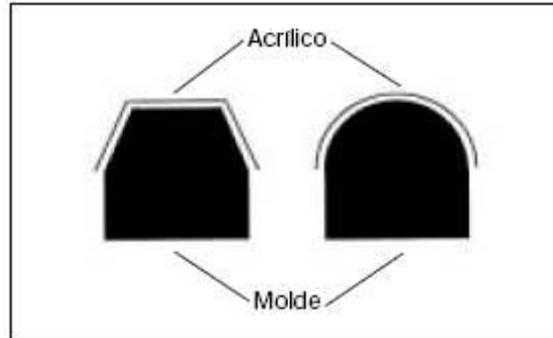
1.6.2 Termoformado tridimensional (con moldes)

Los procedimientos para el formado tridimensional requieren en general del uso de equipo de vacío, aire a presión, mecánico o una combinación de estos para moldear la lámina acrílica a la forma deseada. A continuación se describen estas técnicas:

1.6.2.1 Formado libre o por gravedad

Este método es el más sencillo de todos, debido a que la lámina una vez reblandecido el material, se coloca sobre el molde y por el peso propio del material éste adopta la figura. Las orillas del material pueden sujetarse al molde para evitar las ondulaciones que tiende a formarse durante el enfriamiento.

Figura 4. Formado libre o por gravedad.

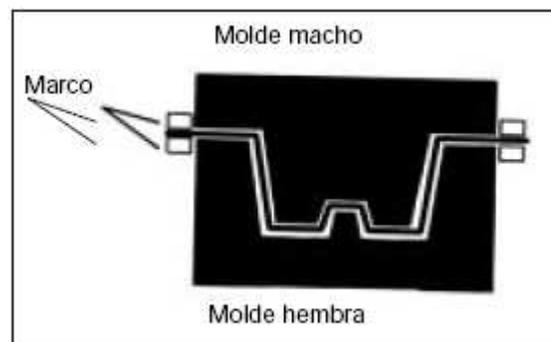


Fuente: D. H. Morton-Jones, Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldeo, hule, PVC, pág. 86

1.6.2.2 Formado mecánico con molde hembra y macho

La lámina acrílica puede ser formada prensando el material revenido entre moldes hembra y macho, para producir piezas de dimensiones muy exactas. Este procedimiento requiere un excelente acabado de los moldes para reducir al mínimo las marcas de los mismos.

Figura 5. Producción de piezas de dimensiones muy exactas.

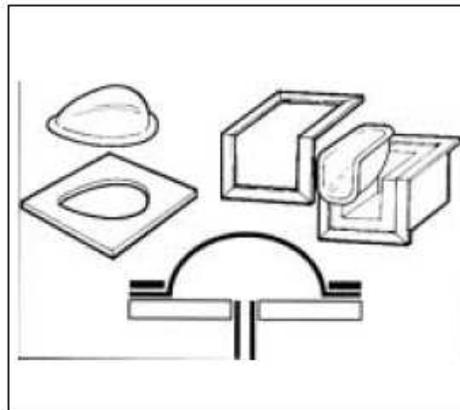


Fuente: D. H. Morton-Jones, Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldeo, hule, PVC, pág. 86

1.6.2.3 Formado libre a presión o vacío de aire

Las piezas que requieren claridad óptica como domos, cabinas de helicóptero, etc. se pueden formar sin molde, basta formar el acrílico por vacío o presión de aire. La forma de la pieza terminada será dada por la forma y tamaño del arillo que lo fije al marco y por la altura que se dé; sin embargo, estas formas se limitan a contornos esféricos o burbujas libremente formadas. Para este tipo de formado deberá preferirse el uso de vacío, o presión si es mayor a una atmósfera.

Figura 6. Moldes y formas de los acrílicos formados libremente a presión o vacío de aire

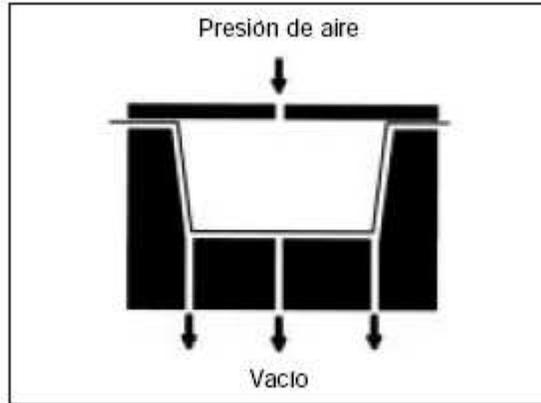


Fuente: D. H. Morton-Jones, *Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldeo, hule, PVC*, pág. 96

1.6.2.4 Formado a vacío y presión, molde hembra

Este procedimiento permite formar sobre moldes piezas cuya forma requieren mayor precisión que las que se obtienen por vacío. Sin embargo las altas presiones causarán marcas del molde en la pieza. Como se requieren presiones altas, los moldes deberán ser de metal, resinas epoxy u otros materiales que soporten grandes presiones sin deformarse. El buen acabado de los moldes es imperativo para lograr piezas de calidad.

Figura 7. Combinación de vacío y presión de aire con molde hembra para lograr mayor precisión en el acabado

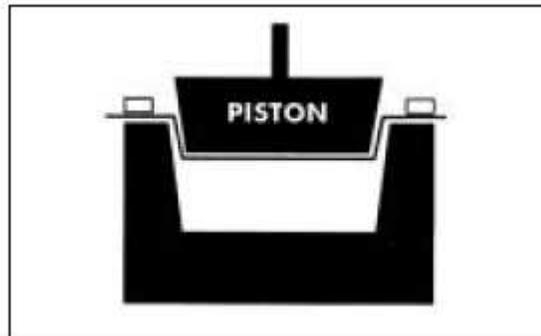


Fuente: D. H. Morton-Jones, Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldeo, hule, PVC, pág. 99

1.6.2.5 Formado a presión con ayuda de pistón, molde hembra

La técnica de la ayuda de pistón se utiliza para reducir el adelgazamiento en el fondo de las piezas formadas. El pistón estira el material antes de que la presión sea aplicada. Se requiere una velocidad del pistón de 6 m/min., puede dañar el material en su contacto inicial. Presión de moldeo de 2.8 Kg/cm².

Figura 8. Utilización de pistón para pre-estiramiento

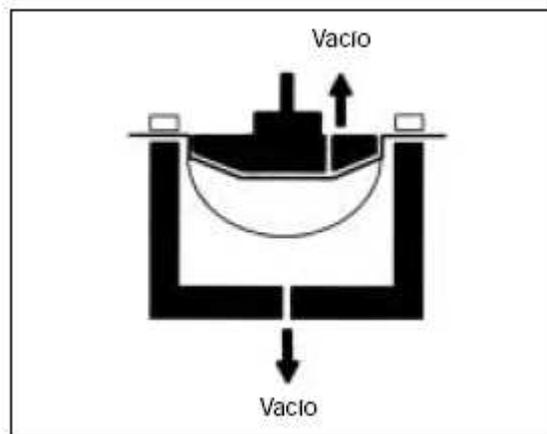


Fuente: D. H. Morton-Jones, Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldeo, hule, PVC, pág. 100

1.6.2.6 Formado a vacío con retorno y molde macho

Esta técnica es valiosa para formar piezas que requieran espesor uniforme en las paredes y la menor cantidad de marcas de moldeo. La lámina revenida se estira en una caja de vacío hasta alcanzar la profundidad necesaria para dar cabida al molde; una vez que éste ha penetrado, se libera gradualmente el vacío para que el acrílico regrese a su forma original encontrándose con él. Se pueden lograr formas más definidas si al regreso se aplica vacío al molde macho.

Figura 9. Utilización de vacío para sobre-estiramiento y retorno en molde macho

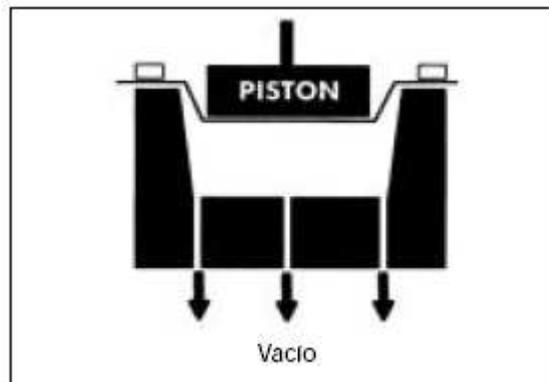


Fuente: D. H. Morton-Jones, *Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldeo, hule, PVC*, pág. 104

1.6.2.7 Formado a presión con ayuda de pistón, molde hembra y vacío

Este es el más sofisticado de todos, puesto que es una combinación de casi todos los anteriores, generalmente se utiliza para termoformados muy profundos en los que se requieren espesores más controlados y existe el problema de ruptura por una excesiva profundidad de moldeo.

Figura 10. Método sofisticado para termoformado profundo.

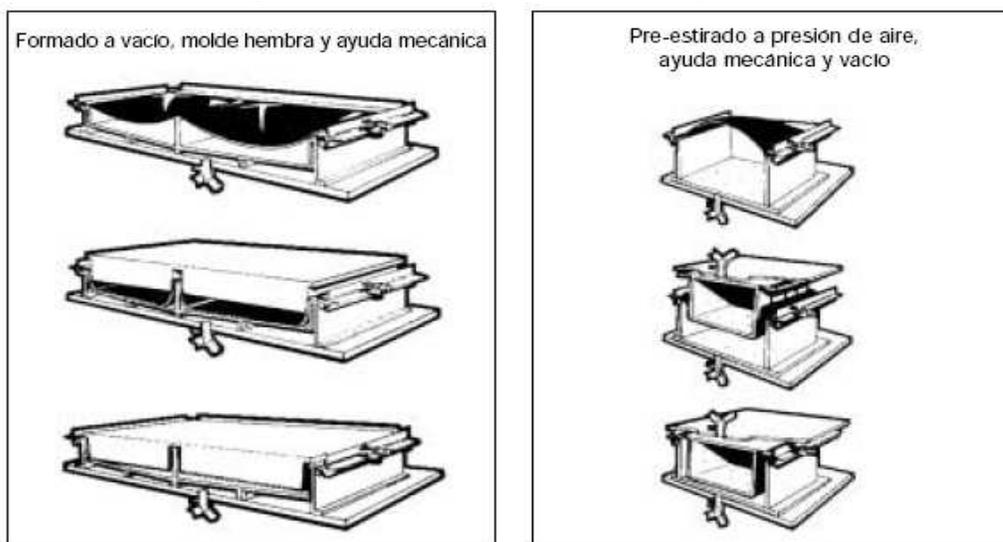


Fuente: D. H. Morton-Jones, Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldeo, hule, PVC, pág. 108

1.6.3 Técnicas de moldeo en horno de calentamiento infrarrojo

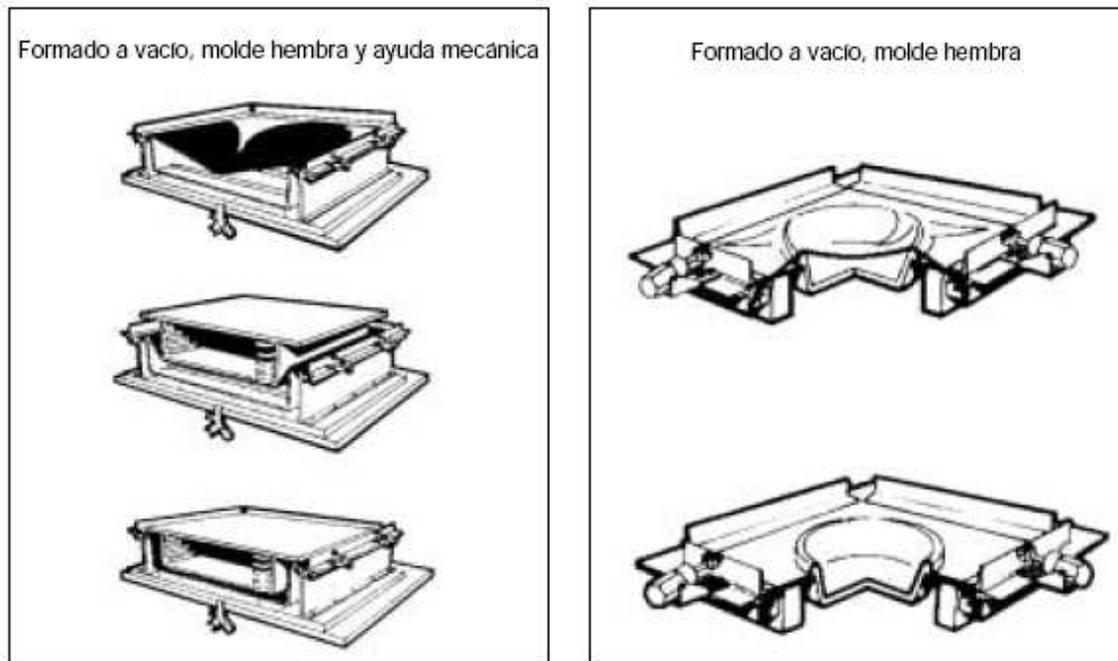
En esta sección se tratara de ampliar las técnicas anteriormente descritas. A pesar de que estos ejemplos están diseñados para equipos de calentamiento infrarrojo, es posible aplicar éstas a los sistemas de moldeo convencionales.

Figura 11. Formado a vacío, molde hembra y ayuda mecánica. Pre-estirado a presión de aire, ayuda mecánica y vacío



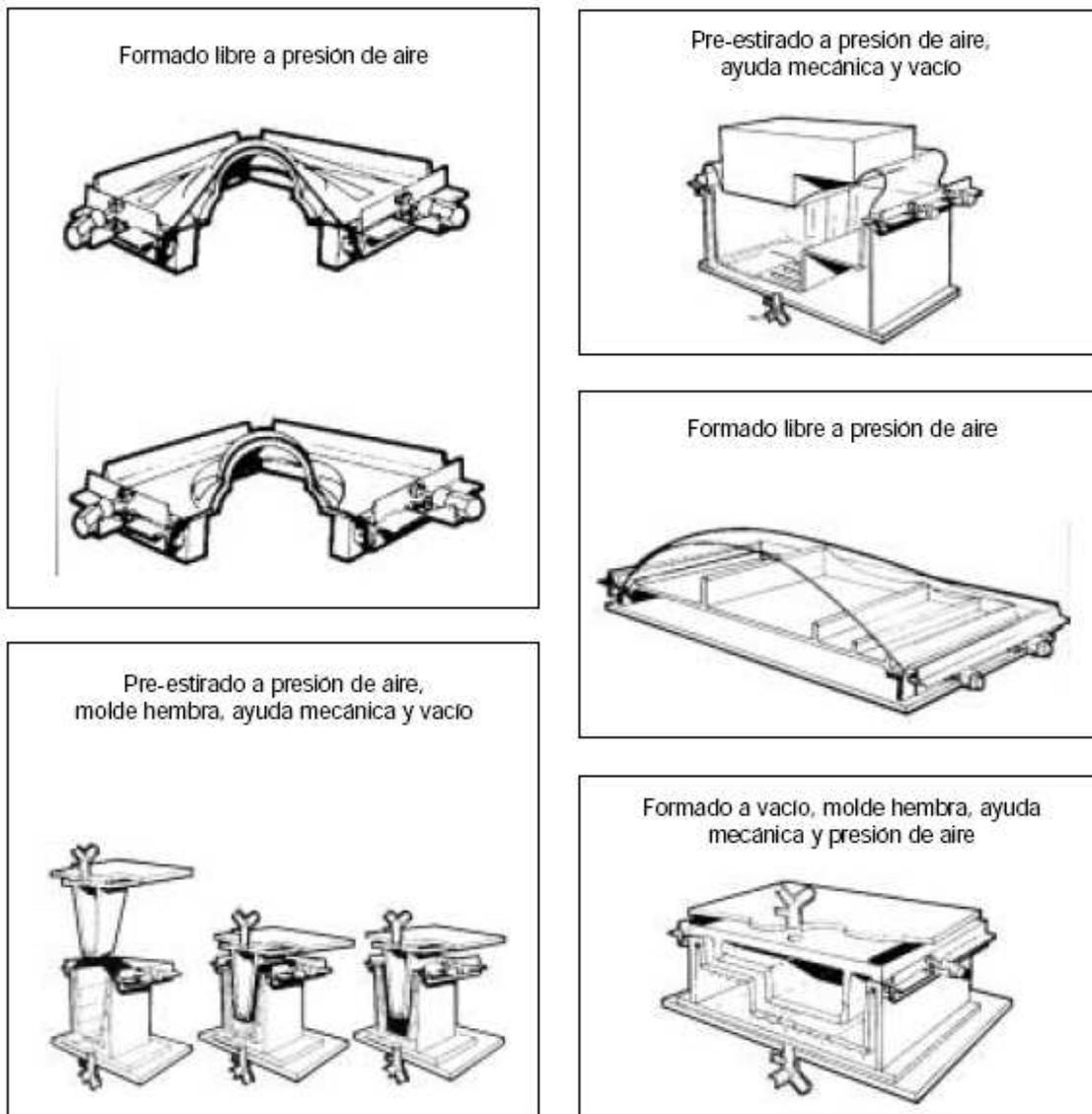
Fuente: D. H. Morton-Jones, Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldeo, hule, PVC, pág. 110

Figura 12. Formado a vacío, molde hembra y ayuda mecánica. Formado a vacío molde hembra.



Fuente: D. H. Morton-Jones, *Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldeo, hule, PVC*, pág. 110

Figura 13. Formado libre a presión de aire. Pre-estirado a presión de aire, molde hembra, ayuda mecánica y vacío. Pre-estirado a presión de aire, ayuda mecánica y vacío. Formado libre a presión de aire. Formado a vacío, molde hembra, ayuda mecánica y presión de aire.



Fuente: D. H. Morton-Jones, *Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldeo, hule, PVC*, pág. 111

1.7 Enfriamiento de piezas termoformadas

El enfriamiento de una pieza termoformada es tan importante como el calentamiento, pero en algunos casos podrá consumir más tiempo que el calentamiento. Por este motivo es importante seleccionar el método más apropiado. Algunas veces, cuando se forman piezas de espesores gruesos que toleran un menor esfuerzo interno, es aconsejable retardar el enfriamiento normal, cubriendo la pieza con una tela o franela suave. Si la pieza está sujeta con clamps, la fuerza de sujeción se irá perdiendo poco a poco durante el enfriamiento y se presentará un encogimiento que relevará los altos esfuerzos de este proceso.

La mayor parte del calentamiento absorbido durante el ciclo de calentamiento deberá disiparse del plástico antes de que se retire del molde, de otra forma pueden ocurrir distorsiones y alabeos en la pieza. Si la pieza es formada en un molde macho, se deberá desmoldar antes de que se presente un encogimiento y sea difícil de desmoldar.

1.7.1 Métodos convencionales de enfriamiento

La conducción y convección son prácticamente los únicos métodos para disipar el calor, en vista de que la conductividad térmica en los plásticos es baja, un enfriamiento largo se presentará en piezas que tengan un espesor superior de 2.0 mm. Lo más común es utilizar ventiladores eléctricos para enfriar la pieza; este método tiene la ventaja de que la pieza puede ser enfriada en el molde, la desventaja es que la corriente de aire no será suficiente para enfriar el molde en cada ciclo con lo cual éste se excederá de calor, interfiriendo con el ciclo normal de calentamiento.

El enfriamiento de una pieza en contacto con el molde es muy eficiente si éste es de metal y tiene ductos de enfriamiento con recirculación de agua. Se recomienda utilizar en estos casos un volumen suficiente de líquido refrigerante para mantener uniforme la

temperatura del molde. Si se mantiene el agua de enfriamiento a cierta temperatura, la formación de marcas en la pieza (usualmente conocidas como ondulaciones en su superficie) por tener un molde frío se pueden minimizar. Los moldes de aluminio o de resina epóxica y/o poliéster son muy adecuados si se pretende incluir un sistema de refrigeración. Los moldes de madera no son muy convenientes para corridas largas debido a que no disipan el calor rápidamente.

1.7.2 Métodos no convencionales de enfriamiento

Hay métodos de enfriamiento muy rápidos que utilizan un spray o cortina muy fina de agua desionizada o dióxido de carbono líquido, que rápidamente enfría la superficie de una pieza termoformada. Este método no se utiliza frecuentemente por su costo, cualquiera de los dos puede justificarse, especialmente si se aplica localmente para prevenir desgarres térmicos en piezas muy profundas, recordando que un enfriamiento irregular y rápido de la pieza formada es inducida a generar esfuerzos que afectan la durabilidad.

1.8 Variables del material en el termoformado

Existen variables en el proceso de termoformado que pueden afectar la apariencia, calidad, dimensiones y distribución del material en una pieza formada. El conocimiento de estas variables puede muchas veces resolver problemas difíciles de producción en el proceso de termoformado. A continuación presentamos las variables que con mayor frecuencia se presentan como desviaciones en el proceso de termoformado.

1.8.1 Espesor de la hoja

Cuando se utiliza un calentamiento a base de resistencias eléctricas o radiación infrarroja, el descalibre en el espesor del material puede provocar un calentamiento desigual y como resultado se tienen variaciones en la parte formada. En un pre-estirado

o formado profundo, son necesarias tolerancias dimensionales cerradas para prevenir que en las zonas muy delgadas se rompa el material por el vacío o presión de aire ejercido. En piezas muy profundas existirá una variación en el espesor del material, esto dependerá del espesor que se utilice, del área y la profundidad máxima de la pieza. En los casos en los que exista una variación del espesor entre hoja y hoja, la temperatura de calentamiento deberá reducirse para evitar un reblandecimiento mayor en el material. Si la temperatura de la hoja es homogénea, aún con zonas delgadas es muy probable lograr una pieza satisfactoria.

1.8.2 Pigmentación de la hoja

En el caso de calentamiento por radiación (resistencias eléctricas), los diferentes colores de un mismo material pueden hacer variar la temperatura y los ciclos de calentamiento. En un horno por convección (recirculación de aire caliente) no aplica esta variable.

1.8.3 Tamaño de la hoja

A fin de obtener una mejor distribución del material en una pieza muy profunda, es más económico aumentar el tamaño de la hoja en lugar del espesor del material.

1.8.4 Calidad en la temperatura de la hoja

Cuando la temperatura de cualquier material es incrementada, la fuerza de tensión se reduce y por lo tanto la hoja se vuelve más maleable. Los mejores resultados en el termoformado son obtenidos con formados simples o profundos realizados al rango inferior de la temperatura de revenido.

1.8.5 Uniformidad en la temperatura de la hoja

Para piezas de alta calidad, es importante que la hoja esté calentada uniformemente al punto de revenido a lo largo y ancho del material. Las hojas que no tienen un calentamiento uniforme, tendrán un formado deficiente: el estiramiento en zonas de temperatura normal resultará mayor que en las que no se logró el reblandecimiento.

2 FASE TÉCNICO PROFESIONAL

2.1 Equipos de termoformado

Originalmente, los hornos de convección fueron los primeros equipos para el calentamiento de hojas plásticas para termoformado y hasta hoy en día se mantiene esta preferencia para el calentamiento de láminas de diferentes espesores y para una distribución uniforme de la temperatura.

El calentamiento puede ser suministrado por medio de gas o por unidades de resistencias eléctricas. La recirculación forzada de aire y deflectores para lograr que el aire circule de 4,500 a 6,100 cm³/min (150 a 200 pies³/min), son cruciales para obtener una temperatura homogénea. La temperatura del horno debe ajustarse a la temperatura de formado del plástico.

El calentamiento por radiación infrarroja, en comparación con la de inmersión en aceite o calentamiento por contacto (las dos últimas muy limitadas en la práctica), es extremadamente rápida. Por ejemplo, el tiempo de calentamiento por radiación infrarroja en una lámina de 3.0 mm. se puede lograr en un minuto a 10 watts/pulg², aproximadamente.

Debido a que en el calentamiento por radiación infrarroja el tiempo es extremadamente corto, la energía calorífica que absorbe la lámina puede provocar un sobrecalentamiento que inclusive, repercutirá en la degradación del material (burbujas o quemaduras) si no se controla. Es importante considerar que en corridas largas, es necesario disminuir gradualmente la temperatura del horno.

En algunos casos, cuando el producto tenga secciones intrincadas o muy profundas, se correrá el riesgo de un adelgazamiento considerable en el espesor del material; aquí es

necesaria la utilización de pantallas (pueden ser hechas con lámina perforada o desplegada metálica) para evitar el sobrecalentamiento.

Los elementos de radiación infrarroja se pueden obtener en una gama muy amplia de diseños, en orden de importancia son:

1. Filamentos de tungsteno en tubos de cuarzo o lámparas (2,200° C de temperatura).
2. Resistencia tipo resorte de nicromio en bases de cerámica refractaria.
3. Resistencias de nicromio protegidas por tubular de lámina o acero inoxidable.

Existen fabricantes de máquinas termoformadoras de radiación infrarroja en una gran variedad de tamaños, capacidad, grado de automatización y versatilidad.

Las especificaciones para la adquisición de una máquina termoformadora varían, dependiendo del producto terminado que se pretende obtener y por lo tanto es necesario considerar:

Voltaje, wattaje, amperaje, área útil de formado, número de calefactores (inferior y superior), controles de regulación de temperaturas por zonas, grado de automatización, capacidad para aceptar ayudas mecánicas, tipo de sujeción de la lámina (clamps mecánicos, neumáticos, etc.), ventiladores para el enfriamiento de la pieza, dimensiones generales, capacidad de producción, costo-beneficio.

2.1.1. Horno de gas con circulación forzada de aire

Éste proporciona calor uniforme y temperatura constante con el mínimo riesgo de sobrecalentar la lámina acrílica. Se deben utilizar ventiladores eléctricos para forzar al aire caliente a circular por la lámina acrílica a una velocidad aproximada de 4,500 a 6,100 cm³/min., y dispositivos para distribuir el aire hacia todas las zonas del horno.

Los hornos de gas requieren de intercambiadores de calor para prevenir la acumulación de tizne provocado por el flujo de gas, así como controles para interrumpir el paso de gas en caso de ser necesario.

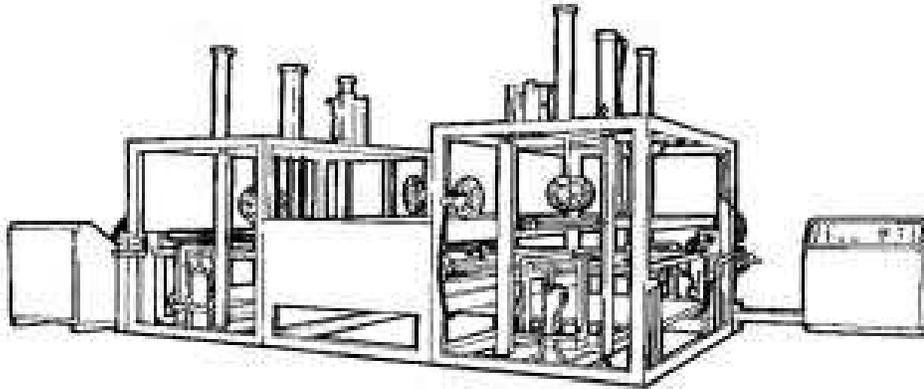
Los hornos eléctricos pueden ser calentados, utilizando grupos de resistencias de 1000 watts. En el caso de usar un horno con capacidad de 10 m³, se consumirán, aproximadamente 25,000 watts de potencia y la mitad de ésta será utilizada para compensar la pérdida de calor por fugas, transmisión del aislamiento y por el uso de puertas. Se sugiere que el espesor de aislamiento sea de 2" como mínimo y que las puertas del horno sean lo más angostas posibles, para reducir al máximo la pérdida de temperatura.

Se deben utilizar dispositivos automáticos para el control estricto de temperatura entre los 0° C y 250° C. Para obtener un calentamiento más uniforme de la lámina es importante que se cuelgue en forma vertical y esto se puede lograr contando con un sistema que sujete el material a lo largo con broches o canales con resortes y que éstos se recorran por medio de carretillas que se deslicen sobre rieles tipo clóset.

2.1.2 Horno de calentamiento infrarrojo

Es comúnmente utilizado en las máquinas termoformadoras automáticas, calentando la lámina por medio de radiación a una velocidad de 3 a 10 veces más rápido que en un horno con circulación forzada de aire, proporcionando así, ciclos de calentamiento muy reducidos, es necesario subrayar que la relación temperatura-tiempo se vuelve crítica y es más difícil obtener un calentamiento uniforme del material.

Figura14. Horno de calentamiento infrarrojo.



Fuente: D. H. Morton-Jones, Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldeo, hule, PVC, pág. 115

La energía infrarroja es absorbida por la superficie expuesta del acrílico, alcanzando rápidamente temperaturas sobre 180° C para después ser transmitida al centro del material por la conducción de temperatura.

El calentamiento por radiación infrarroja se puede obtener usando elementos tubulares de metal, resistencias eléctricas de espiral (tipo resorte), o agrupando lámparas de luz infrarroja. Para lograr una distribución del calentamiento más uniforme, se puede montar entre los elementos de calentamiento y el material una red o malla metálica que funcione como difusor de temperatura. Asimismo, es conveniente colocar la plancha de calentamiento infrarroja, aproximadamente a 30 cms. del material y la plancha inferior a aproximadamente 50 cms. de distancia.

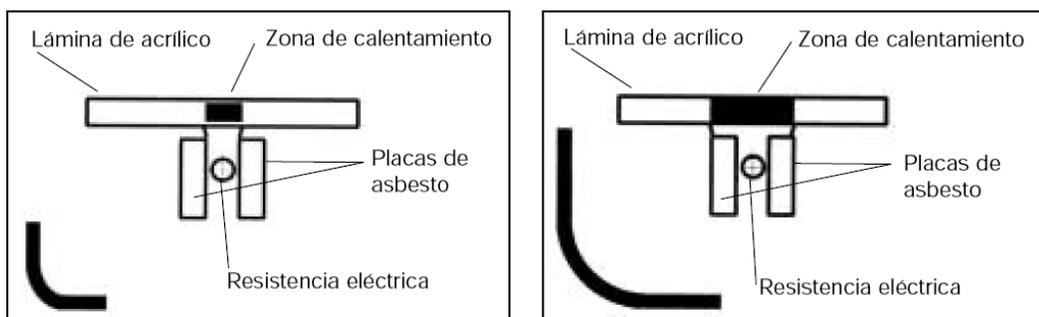
Para regular la entrada de energía al equipo, es recomendable utilizar dispositivos tales como transformadores variables o medidores de porcentaje que ayuden al control de temperatura. Es recomendable también hacer una planeación de las cargas de energía eléctrica, los equipos de gran capacidad, inclusive necesitarán una subestación eléctrica.

2.1.3 Resistencias eléctricas de calentamiento lineal

Una resistencia eléctrica puede usarse únicamente para formar dobleces en línea recta; para esto, es necesario contar con una resistencia eléctrica de tipo resorte (No. 20) o del tipo blindada (aproximadamente 1 Kw. X 1.2 m.).

Las resistencias lineales son de alambre, encerradas en tubos de cerámica. El material no deberá entrar en contacto con el tubo para evitar marcas en la superficie. Se recomienda una distancia de 6 mm. del tubo al material para lograr un calentamiento uniforme en material delgado. Cuando se va a calentar por este procedimiento material de más de 3.0 mm. de espesor, es aconsejable colocar resistencias en ambos lados del mismo. En la siguiente ilustración, se ejemplifica como una dobladora con placas de asbesto al principio de la producción proporcionará un doblez adecuado, pero conforme se avanza en la producción la zona de calentamiento se amplifica dando por resultado un doblez con radio mayor, es por esto que una resistencia con recirculación de agua es mucho más conveniente para el doblez de acrílico.

Figura 15. Resistencias eléctricas de calentamiento lineal.



Fuente: D. H. Morton-Jones, *Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldeo, hule, PVC*, pág. 116

2.2 Equipo complementario

El proceso de termoformado consiste en calentar y reblandecer una hoja de cualquier material termoplástico y someterla a que adopte la configuración del molde correspondiente para así, obtener un producto casi terminado con una morfología particular.

A veces será necesario utilizar una fuerza externa para darle forma a una hoja plana en otra forma diferente y que se le obligue a que copie todo el contorno y los detalles del molde. El nivel de energía o gasto de esta fuerza debe ser ajustable para que la hoja de plástico pueda ser fácilmente obligada a adoptar otra forma.

Las fuerzas de formado más comúnmente utilizadas en el proceso de termoformado son: vacío o aire a presión, fuerzas mecánicas y la combinación de estas tres. La selección de una fuerza de formado en el proceso de formado, generalmente está condicionada al tamaño del producto, volumen a producir y la velocidad de los ciclos de formado.

Adicionalmente a este criterio, también deben ser considerados los factores que en seguida se mencionan, ya que cualquiera de éstos puede marcar una diferencia en la selección de la fuerza de formado:

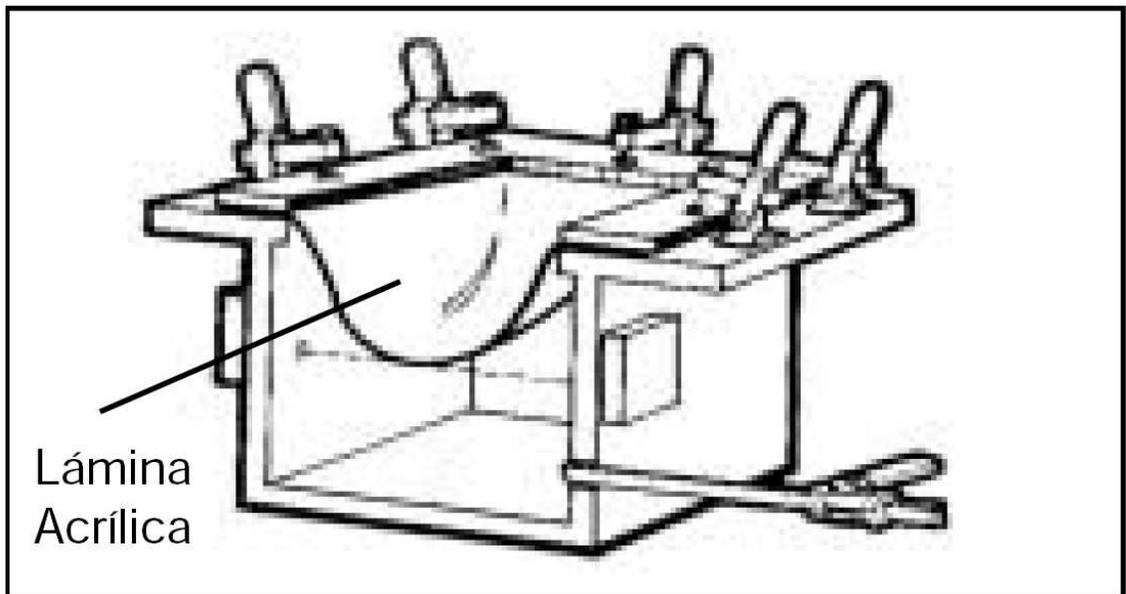
- a) Las limitaciones intrínsecas de cada material termoplástico.
- b) La construcción y material del molde.
- c) El equipo de termoformado disponible.

2.2.1 Formado a vacío

El método más antiguo para formar una hoja de plástico en una pieza utilitaria, es el formado al vacío. La descripción original para el proceso de termoformado fue precisamente el de "formado al vacío".

El principio básico del proceso de formado al vacío es el contar con una lámina termoplástica reblandecida en un molde perfectamente sellado y donde el aire atrapado será evacuado por la fuerza de vacío o succión. A medida que el aire es evacuado del molde, causa una presión negativa sobre la superficie de la hoja y por lo tanto, la presión atmosférica natural cederá para forzar a la hoja calentada a ocupar los espacios vacíos, tal como se puede apreciar en esta ilustración.

Figura 16. Lámina acrílica que cede ante la presión negativa generada en el interior del molde.



Fuente: D. H. Morton-Jones, Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldeo, hule, PVC, pág. 120

2.2.1.1. Equipos de vacío

Existe una gran variedad de bombas de vacío: de pistón recíprocante, de diafragma, de paletas, de rotor excéntrico, etcétera. Todas estas proporcionan un buen vacío, pero no son capaces de evacuar un volumen grande de aire a gran velocidad; por esta 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 a fuerza de vacío.

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

La línea, ducto o tubería entre el tanque de almacenamiento y el molde deberá ser lo más corta posible y con un mínimo de codos. Es importante eliminar fugas de aire por tubería dañada, mangueras perforadas, coples o niples flojos, así como válvulas no necesarias. Se recomienda utilizar válvulas de acción rápida o de bola. Las bombas de vacío están disponibles en uno o dos pasos. Una bomba de vacío de dos pasos puede evacuar presiones abajo de 10 pis; la capacidad de desplazamiento o evacuación para una bomba de un paso se reduce a la mitad. En la Tabla IX se muestran las capacidades típicas para bombas de vacío.

Tabla IX. Especificaciones típicas para bombas de vacío

ESPECIFICACIONES			CAPACIDAD TEÓRICA DE VACÍO				
No. DE CILINDROS	DIÁMETRO (mm)	CARRERA (mm)	UN PASO (M ³ /MIN)	DOS PASOS (M ³ /MIN)	VELOCIDAD (RMP)	POTENCIA REQUERIDA (Kw)	DIAM. DE SALIDA DE LA TUBERIA
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

2.2.1.2 Tanques de vacío

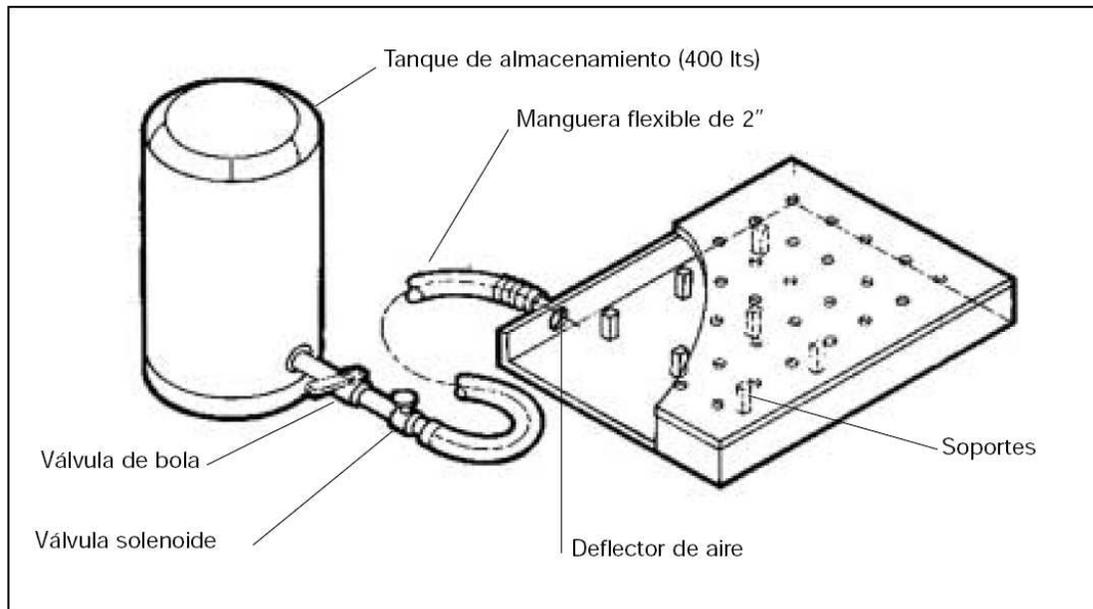
Con excepción de algunos equipos de vacío, la mayor parte son suministrados con un tanque de almacenamiento. Tomando en cuenta que la presión de trabajo es de aproximadamente 10 pis (alrededor de 21 Pulg. Hg /530 mm. Hg) de vacío, entonces el volumen del tanque de almacenamiento deberá ser 2.5 veces 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 pis), conforme a lo establecido, el límite teórico para el proceso de formado al vacío es de sólo 14.7 pis.

En muchos de los casos un rápido desplazamiento de vacío es de gran importancia. Esto sólo puede ser efectuado localizando el tanque de vacío lo más cercano al molde y reduciendo lo más posible la fricción en la tubería, esto se puede lograr mediante:

- a) Un mayor diámetro de la tubería.
- b) Contar con curvas generosas en la tubería, evitando codos a 90°.
- c) Cambios en la sección transversal de la tubería (cambios de diámetros).

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 una alma de alambre u otro material para que no permita que se colapse; esto es conveniente conectarlo entre el molde y la tubería, como se muestra en la siguiente ilustración:

Figura 17. Conexión del sistema de aire a presión.



Fuente: Ramos del Valle, Luis Francisco. Extrusión de plásticos : principios básicos. Pág. 40

2.2.1.3 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.

Como regla general, entre más rápido se haga el vacío, la apariencia de la pieza será mejor, 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.

2.2.2 Formado con aire a presión

En operaciones donde la fuerza de vacío es reemplazada por aire a presión, se debe considerar que es más difícil obtener un sellado satisfactorio del molde. La fuerza de formado fácilmente puede multiplicarse hasta 10 veces si el aire a presión está a 100 pis. 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 ser utilizados a menos que se refuercen con metal.

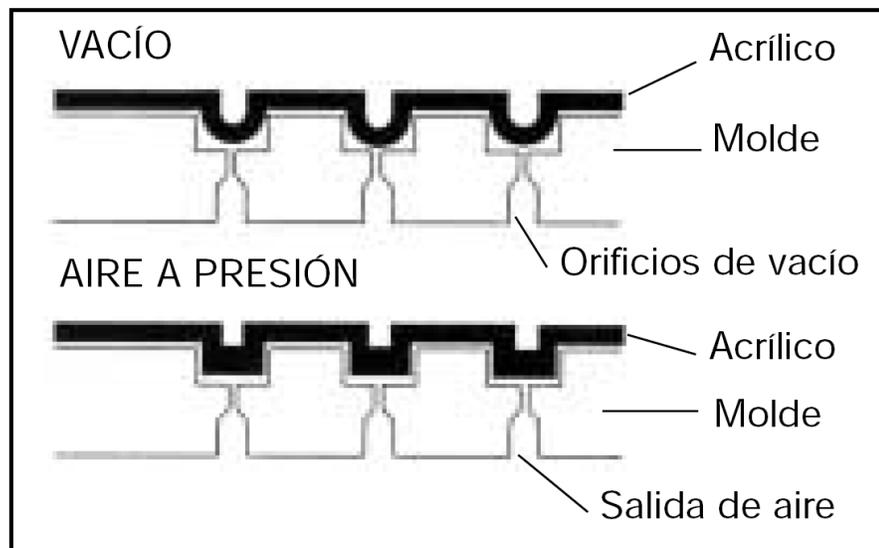
El equipo de formado a presión debe ser más fuerte que el de formado a vacío. Igualmente deberá contar con tanque similar para el compresor. La tubería no requiere de especificaciones estrictas ya que la caída de presión es despreciable. Si en una tubería la caída de presión es de 5 pis, la pérdida de presión en el sistema de vacío será de 10 pis, el 50% de la presión, pero si el sistema de presión es de 100 pis, 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 ayudarán en grandes sopladors, que deberán permanecer calientes hasta que la parte se forme 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, además de que combinados con partículas del aire podrán tapar los orificios de ventilación en los moldes. Un mantenimiento periódico del equipo es indispensable.

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

Figura 18. Utilización de orificios de salida de aire.



Fuente: Ramos del Valle, Luis Francisco. Extrusión de plásticos : principios básicos. Pág. 42

El formado con presión de aire se ha vuelto popular sobre todo en 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.

2.2.3 Formado mecánico

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 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 sujetos y no hay variación en el espesor.

Figura 19. Fabricación del arco cañón.



Fuente: D. H. Morton-Jones, Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldeo, hule, PVC, pág. 124

2.2.3.1. Formado mecánico molde macho-hembra

El moldeo 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 si 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 una adecuada ventilación del aire atrapado. La presión que se ejerce entre los moldes provoca que entre éstos 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 detecte 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.

2.2.4 Técnicas 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 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, porque presiona el material reblandecido en el molde hembra. El propósito de esta ayuda es el de preestirar 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 tiene la ventaja de una mejor distribución del espesor del material, sobre cualquier otro proceso. Con la combinación de estas técnicas se puede obtener muchas 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.

2.2.5 Diseño de ayudas mecánicas

Usualmente las ayudas mecánicas se construyen en madera. Las maderas duras o tropicales son las más usadas en la fabricación de ayudas. En algunos casos es posible

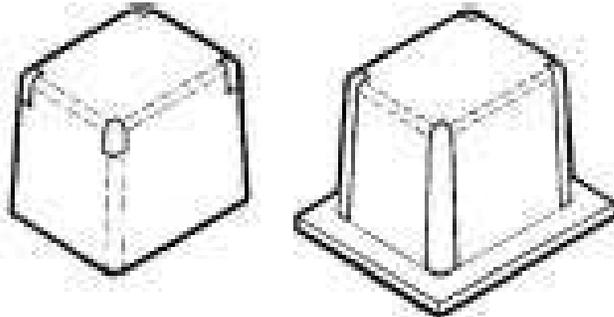
incorporar postizos de otros materiales plásticos como nylon, poliuretano rígido, acrilamidas, aluminio o acero que son fácilmente maquinables.

En casos en que el volumen a producir lo requiera, es posible incorporar un sistema de enfriamiento y/o calentamiento. 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.

Figura 20. Ayudas mecánicas.



Fuente: D. H. Morton-Jones, Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldeo, hule, PVC, pág. 128

La forma de la ayuda va a tener una influencia determinante en la pared o espesor de la pieza final. En la siguiente ilustración se pueden apreciar tres tipos diferentes de ayuda.

2.2.5.1 Ayuda tipo superficie plana y cantos romos

Ésta 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.

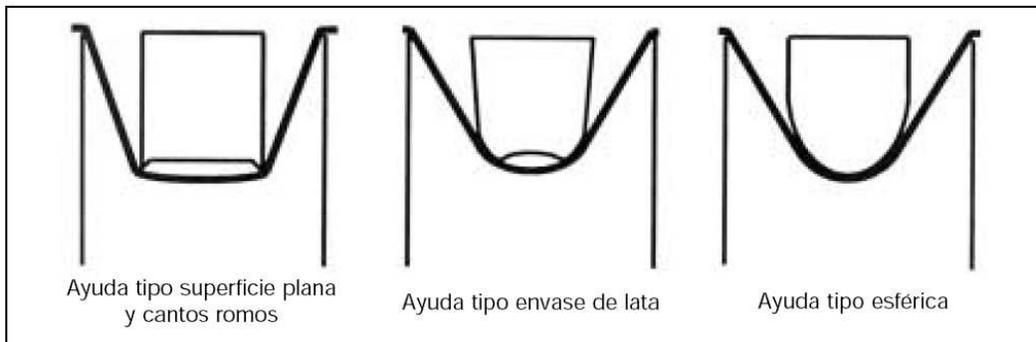
2.2.5.2 Ayuda tipo envase de lata

En esta segunda alternativa, 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.

2.2.5.3 Ayuda tipo esférica

Por otro lado, en este tipo sólo un 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.

Figura 21. Estiramiento de la plancha acrílica con ayuda tipo esférica.



Fuente: D. H. Morton-Jones, Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldeo, hule, PVC, pág. 132

2.3 Pasos para el proceso de producción por formado libre a presión de aire en las instalaciones de Talleres Polanco.

Dado que este es el único proceso que se realiza directamente en las instalaciones de la empresa, es importante detallar la manera en que se realiza este tipo de producción y las diferencias que se perciben con la teoría general y el proceso comúnmente empleado.

2.3.1 Construcción y preparado de los moldes

Los moldes son contruidos a base de madera resistente pero de bajo costo, siendo regularmente de plywood y en ocasiones de pino cuando la pieza así lo requiera, a diferencia de los moldes o juntas de metal regularmente utilizadas.

La razón por la que se utilizan moldes de madera es por la gran gama de formas y tamaños que se necesitan, ya que los trabajos son diversos y por lo general con diferencias entre unos y otros, por lo que un tamaño de molde o juntas de metal no es factible en el aspecto económico. La madera es un poco mas versátil en la construcción de moldes, ya que en muchos casos se puede reutilizar total o parcialmente disminuyendo grandes costos de producción.

Dentro de la construcción de los moldes se utilizan 3 marcos de madera para lograr sostener la plancha acrílica y mantenerla estable durante el formado.

2.3.1.1 Construcción de los marcos

Los datos más importantes a tomar en cuenta antes de construir los marcos son:

- a) La forma de la base del domo (cuadrada, redonda, rectangular, etc.)
- b) Las dimensiones de la base del domo.
- c) Las dimensiones del área de anclaje del domo.
- d) La altura del domo.

Aunque la forma de domo mas común y utilizada, es la cuadrada o rectangular, también puede haber otras formas como la redonda, elipse o cualquiera que sea requerida.

Una vez que sabemos la forma que tendrá un domo determinado, procedemos a tomar las medidas de la base del domo, que es la medida que se refiere al área plana ocupada únicamente por el domo en su base, que debe ser identificada y diferenciada de las dimensiones de la área de anclaje del domo, que es la área que rodea el perímetro de la base del domo y que es utilizada para fijar el domo a alguna superficie normalmente plana.

Figura 22. Domo acrílico instalado.



Figura 23. Dimensiones del área de la base del domo

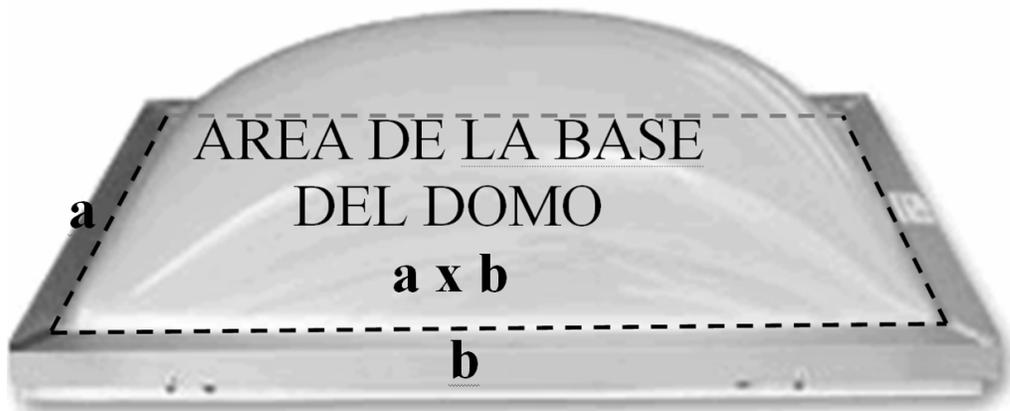
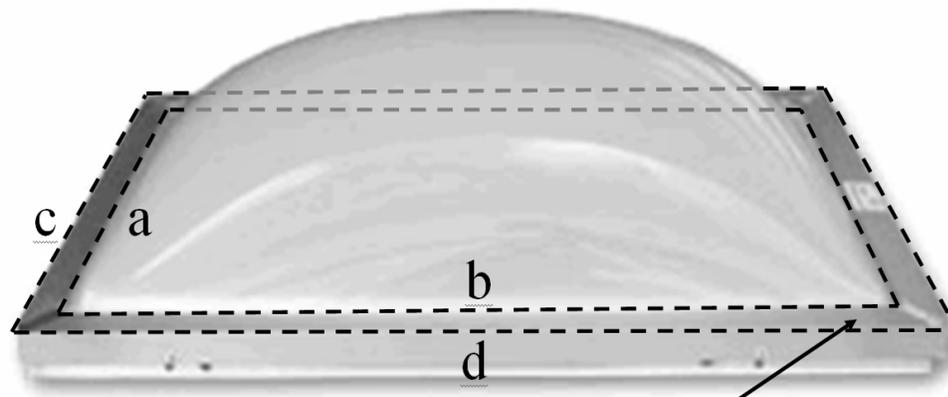


Figura 24. Dimensiones del área de anclaje del domo.



AREA DE ANCLAJE
 $(c \times d) - (a \times b)$

El primer marco (M-1) tiene como perímetro interior las dimensiones de la base del domo ($a \times b$) y como perímetro exterior, el perímetro exterior del área de anclaje del domo ($c \times d$).

El segundo marco (M-2) tiene como perímetro interior el perímetro exterior del área de anclaje del domo y ha de contar con un ancho igual a 2 veces el ancho del primer marco, dando así un perímetro exterior y el tercero más grande que el primero.

El tercer marco (M-3) tiene como perímetro interior las dimensiones de la base del domo y a de contar con un ancho igual al del segundo marco, dando un perímetro exterior mayor que el del primer marco y menor que el del segundo.

La relación entre estos 3 marcos se detalla mas adelante en una figura que representa la colocación de los tres marcos y la lámina acrílica sobre el banco de trabajo.

2.3.2 Preparación de la lámina acrílica

La lámina acrílica necesita una preparación previa antes de ser sometida a calentamiento dentro del horno. Por lo que necesita pasar por 2 procesos.

2.3.2.1 Limpieza

La lámina acrílica se limpia completa y fácilmente utilizando una solución de agua y 1% de detergente suave o jabón. Se aplica con un paño o franela limpia y seca, obteniendo resultados satisfactorios para remover grasa y aceite. Sólo en casos extremos podrá utilizarse alcohol isopropílico, nafta o hexano.

Es importante no utilizar solventes orgánicos como por ejemplo: acetona, thinner, benceno, tetracloruro de carbono, tolueno, ya que atacan la superficie de la lámina.

Para evitar la atracción de polvo por cargas electrostáticas en la lámina, deberá limpiarse siempre con un trapo húmedo o con productos hechos para tal fin, como un antiestático-abrillantador.

Cuando el material presente rayaduras superficiales utilice un pulidor, aplicando sobre la superficie de la lámina con un paño o franela limpia y seca, esperando de 10 a 20 segundos para eliminarlo y posteriormente devolver el brillo con un antiestático-abrillantador.

El protector de plástico que tiene la lámina no se quita hasta después de que se halla dado la forma final a la pieza.

2.3.2.2 Corte

La lámina acrílica debe cortarse adecuada al molde buscando la comodidad para el trabajo y el menor desperdicio posible de material.

La lámina acrílica puede cortarse de diversas maneras, utilizando herramientas manuales o eléctricas, (como las que se usan para cortar madera) y su selección dependerá del tipo de trabajo y producción a fabricar. En nuestro caso se utilizará solamente el corte de tipo manual.

Las láminas delgadas pueden ser cortadas en forma muy similar al vidrio (existen en el mercado cutters o navajas especiales para cortar plásticos, hojas laminadas, etc.), al realizar esta operación se deberá colocar el material sobre una superficie plana apoyado de una regleta, se requiere repasar varias veces con el filo de la navaja y atravesar aproximadamente $1/3$ del espesor del material. Sujetar firmemente la lámina verificando que la línea trazada en el material quede hacia arriba luego del corte. Presione la parte saliente hacia abajo hasta desprenderla.

Raspar los bordes para evitar los filos. Para esta operación se recomienda usar guantes y no hacer cortes muy largos o en un material mayor a 6.0 mm al emplear este método.

Figura 25. Forma correcta de realizar un corte



Siempre haga la incisión siguiendo una regla o con una pieza de borde recto.



Coloque la lámina sobre un borde recto, sujétela bien y desprendala.

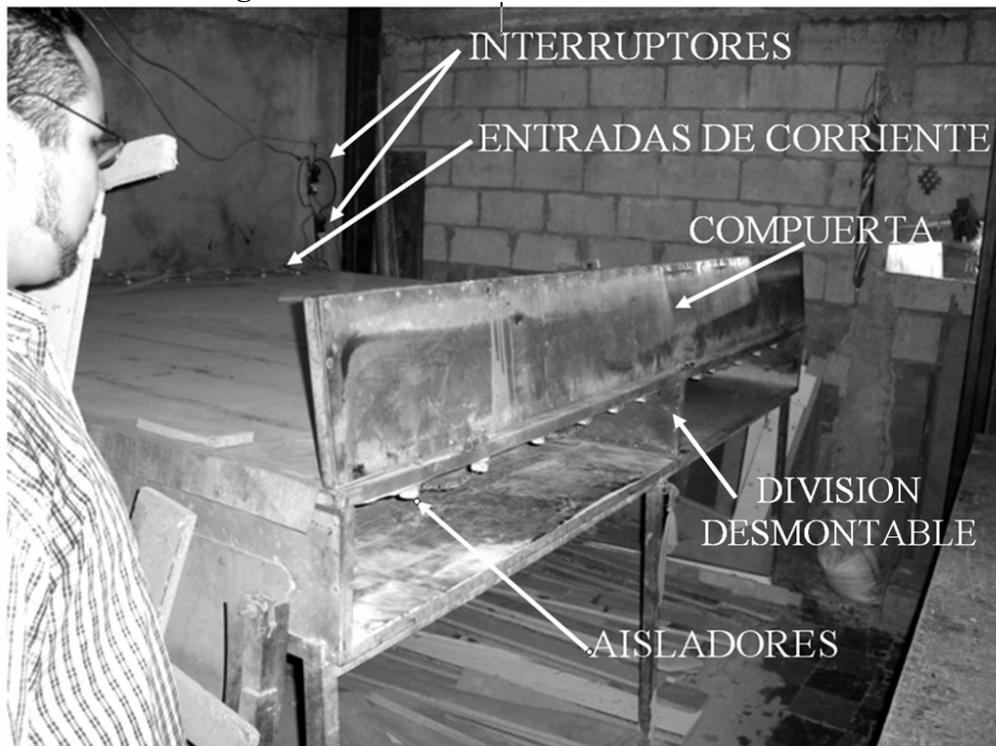
Fuente: Hall, Malcolm M. Rubber products manufacturing technology. Pag. 68

2.3.3 Preparación del horno

El horno debe ser verificado en el cuerpo del mismo, es decir en toda su estructura, y retirar la división desmontable si la pieza fuera muy grande y se necesitara mas espacio para calentar la lamina. Además también se debe verificar el correcto funcionamiento del mismo y los sus subsistemas para evitar problemas posteriores en el calentamiento de la lamina.

En la siguiente imagen se muestra el horno utilizado con la compuerta abierta:

Figura 26. Horno usado en Talleres Polanco.



Fuente: Fotografía proporcionada por talleres Polanco.

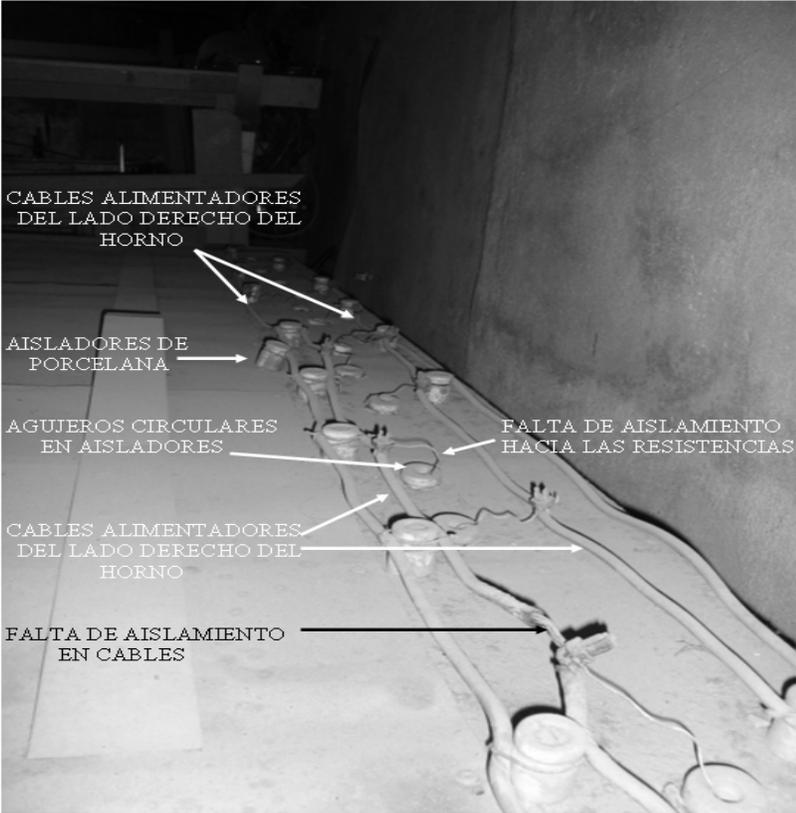
2.3.3.1 Verificación del estado del horno

La verificación del horno se realiza por lo menos cada semana, teniendo especial cuidado en la estructura metálica, que consta de 2 paredes laterales, 1 trasera, 1 delantera (la compuerta), el techo, base (donde descansa libremente la plancha de acrílico), y la división desmontable.

Todas las partes antes mencionadas, tienen un espesor de una pulgada, y cuentan con un aislamiento de fibra de vidrio en su interior, a excepción de la base a la que no se le colocó ningún tipo de aislante por razones económicas en el momento de la construcción del horno. La compuerta carece de una buena hermeticidad, ya que se une al horno en un contacto metal con metal y teniendo como sujeción únicamente un pasador. La división desmontable se utiliza cuando la pieza a trabajar no necesita utilizar más de la

mitad del horno, dado que cada mitad del horno funciona con un interruptor diferente, pero aun con el ahorro de energía de la mitad del horno también se pierde energía debido a que la división tampoco es totalmente hermética y descansa sobre un riel superior y otro inferior. La entrada de corriente a las resistencias que se encuentran dentro del horno se hace por medio de aisladores de porcelana cilíndricos con un agujero circular por donde pasan los cables de corriente, lo que tampoco permite una buena hermeticidad.

Figura 27. Fotografía de la instalación eléctrica del horno utilizado en Talleres Polanco.



Fuente: Fotografía proporcionada por talleres Polanco.

Dadas las condiciones anteriores se debe cuidar que la pérdida de calor no aumente, teniendo especial cuidado en el estado de la estructura y verificando que el calor que se siente en las cercanías de la misma no sean exagerados, ya se que puede deber a un mal estado de las láminas, un exceso en el tiempo de utilización del horno o un aumento repentino en la temperatura de las resistencias cuando son nuevas, además pueden darse una falta de temperatura por la degradación de las mismas o diferencias de temperatura por áreas cuando las resistencias son instaladas sin darles la tensión necesaria (lo que provoca que se de un estiramiento de las mismas acercándose mas a la plancha y provocar temperaturas altas que causan quemaduras o calentamientos muy altos que impiden el buen manejo de la lámina), o se le da mas tensión de la necesaria provocando que la resistencia no tenga la concentración necesaria en el área para producir el calor necesario.

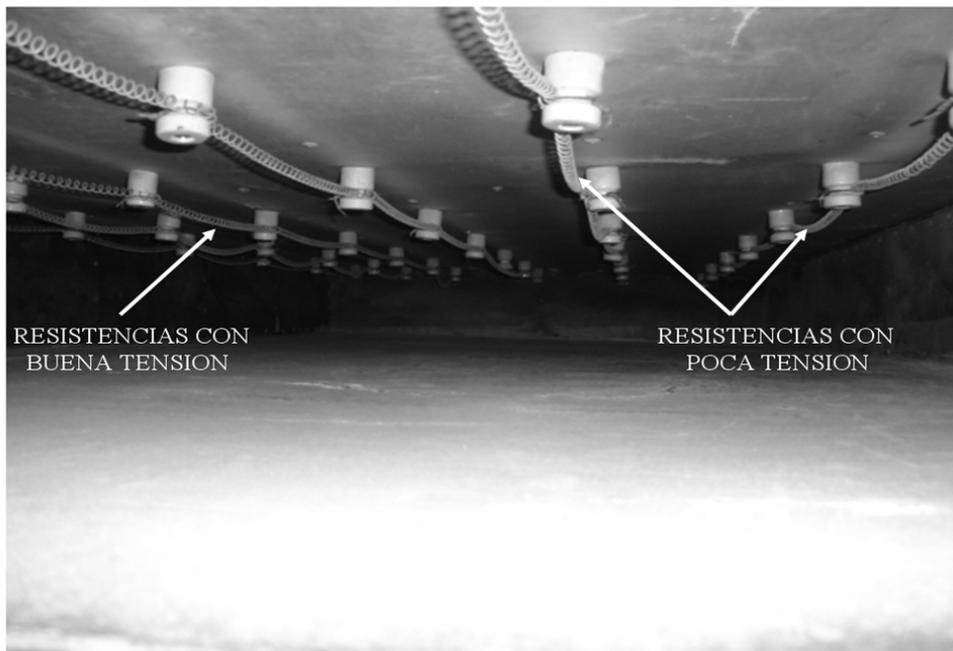
2.3.3.2 Funcionamiento del horno

El horno funciona con 2 interruptores, como se muestra en una figura anterior, con cada interruptor accionando la mitad del horno. El interruptor de arriba acciona la parte izquierda y el interruptor de abajo acciona la parte derecha.

Dependiendo de el tamaño de la plancha se utilizará el horno completo o nada mas la mitad.

El horno utiliza resistencias incandescentes sujetas a aisladores de porcelana, calentando la lámina por radiación. A continuación se muestra el interior del horno.

Figura 28. Fotografía de la instalación de las resistencias de calentamiento infrarrojo.



Fuente: Fotografía proporcionada por talleres Polanco.

Debido a que la lámina descansa libremente sobre la base del domo se utiliza talco industrial, que se aplica a la base del domo y a la plancha que aun cuenta con su protección de plástico para que no se manche con el talco industrial. Luego que la lámina es calentada a la temperatura adecuada de moldeo y se termina con el formado se procede a una limpieza final donde se retira el talco industrial, la capa protectora de plástico y se corta el sobrante del material.

2.3.3.3 Subsistemas del horno

La estructura del horno se puede contar con los siguientes subsistemas:

- a) Estructura
- b) Sistema eléctrico
- c) Fijación de la lámina acrílica
- d) Instalación de gas
- e) Controles

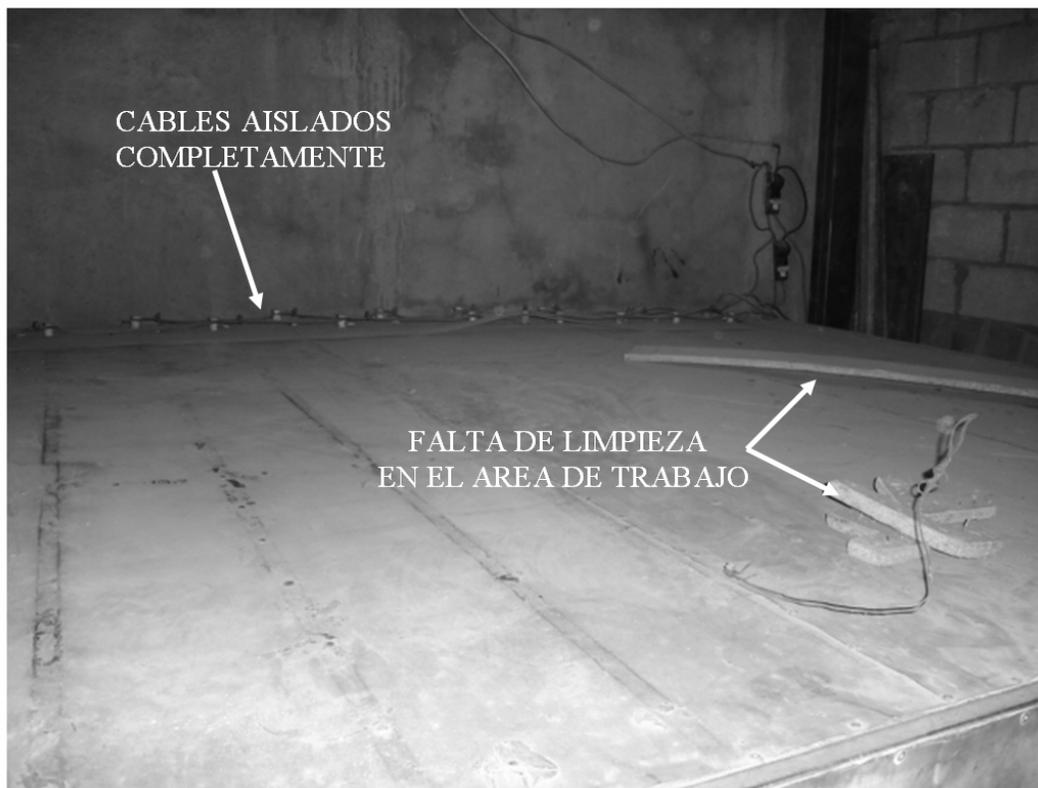
El horno que se utiliza en Talleres Polanco únicamente cuenta con los primeros 2 subsistemas. El sistema es totalmente eléctrico y no cuenta con la modalidad de gas. Debido a la disposición de horizontal del horno no se cuenta con un mecanismo de fijación de la lámina acrílica para suspenderla en el aire, ni con una superficie especial a base de una malla especial que se suspende por encima de la base del horno y que distribuye el calor uniformemente sobre la plancha. No se cuenta controles ni dispositivos de medición para estandarizar y regular el proceso de producción, donde se podría aumentar la eficiencia enormemente con la utilización de dispositivos para controlar el paso de corriente, la temperatura y su distribución uniforme, además del tiempo de transferencia de calor.

Los cuidados y verificaciones sobre la estructura metálica se detallaron anteriormente. En lo que se refiere al sistema eléctrico se pueden verificar las condiciones de los cables, la fijación de los aisladores y el estado de los interruptores y las resistencias. Es importante mencionar que las partes de cable que carecían de aislante fueron reparadas para la mayor seguridad de los operarios. Las verificaciones al sistema eléctrico se mencionan a continuación.

- a) Los cables deben estar completamente aislados y con es aislamiento en perfectas condiciones, sin partes quemadas, tostadas o derretidas.
- b) Los aisladores deben estar fijos para evitar que lleguen a una posición donde cualquier cable pueda caer a tierra y provocar un corto circuito.
- c) Las resistencias deben presentar la tensión adecuada para mantenerse totalmente horizontales y no curvadas hacia abajo y sin estar tensionadas como para deformar el espiral.
- d) Utilizar el horno completo sólo cuando sea necesario, pero de lo contrario limitarse a trabajar con la mitad únicamente.

Una observación importante es trabajar en un área limpia y ordenada ya que facilita el desarrollo del mismo y nos ayuda a encontrar lo que se necesita más rápidamente. Lo que no sirve se desecha y no se coloca en lugares que pueden causar atrasos, accidentes o algún tipo de inconveniente.

Figura 29. Fotografía que hace referencia al aislamiento de los cables y la limpieza en el área de trabajo.



Fuente: Fotografía proporcionada por talleres Polanco.

2.3.4 Calentamiento de la lámina acrílica

El calentamiento de la lámina acrílica se hace por medio de un horno de calentamiento infrarrojo, como se describió. Esta lámina es sometida a un baño de talco industrial en ambas caras, ya que esta se introduce dentro del horno en forma horizontal y sin ningún soporte o superficie especial, descansando en contacto directo con la superficie metálica del horno (también con un baño de talco) con la cual se podría pegar al aumentar la temperatura de la misma.

La lámina es colocada dentro del horno, cerrándose este durante un tiempo determinado únicamente por el técnico que se basa en la utilización de sus conocimientos empíricos. Cuando el técnico lo cree conveniente abre el horno y verifica la flexibilidad de la lámina palpándola manualmente con la ayuda de guantes, luego toma la decisión de trabajar el formado o continuar con el calentamiento de la plancha. Una vez lista la plancha se coloca en el banco de trabajo y se procede al formado.

2.3.5 El banco de trabajo

El banco de trabajo consiste en una armazón de metal en forma de mesa con reglas de madera para cubrir la parte superior de la misma, de dimensiones lo suficientemente grandes como la más grande de las láminas o planchas de acrílico existentes en el mercado.

En los lados del banco se encuentran unos rieles que son usados para movilizar 2 marcos metálicos, que poseen en su parte superior una prensa hidráulica (una por cada marco) que sirven para fijar el molde al banco de trabajo y permitir así el formado de la lámina acrílica.

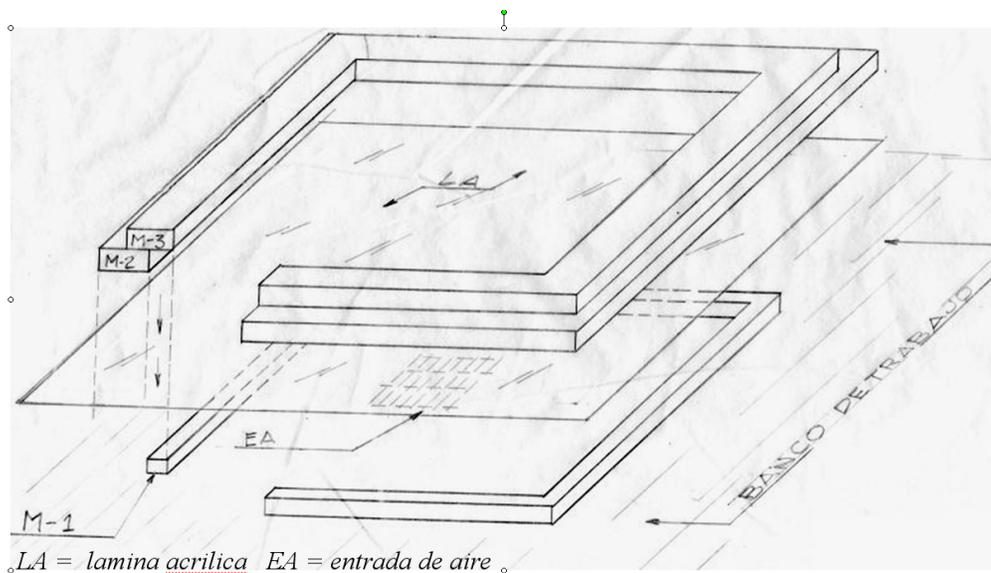
2.3.6 Formado de domos por presión

Este título hace referencia al proceso específico de Talleres Polanco, donde el proceso, como se ha visto hasta ahora, es empírico y con algunas deficiencias que se deben corregir.

Luego de que la lámina es cortada se somete a una temperatura aproximada de 170 °C, que es la temperatura promedio a la cual trabaja el horno y que fue medida por medio de infrarrojo.

Al alcanzar la elasticidad necesaria para el moldeo es retirada del horno y se coloca sobre el marco (M-1) que se encuentra previamente clavado en el banco de trabajo, dejando en medio la entrada de aire. Se coloca el marco (M-3) que se encuentra unido en la parte de arriba del marco (M-2), encima del marco (M-1), luego se corren las estructuras metálicas que contienen las prensas hidráulicas hasta que coincidan con la parte superior del marco (2), entonces se aplica presión sobre el marco que garantice la sujeción de la lámina mientras es formada por el aire.

Figura 30. Diagrama de la disposición de los marcos y la plancha acrílica sobre el banco de trabajo.



Fuente: Fotografía proporcionada por Talleres Polanco.

Se aplica el aire y se controla el alto del domo por medio de una vara telescópica que esta sujeta al techo y que se calibra para que de la medida buscada. La presión del aire se controla hasta que el domo alcance una temperatura estable en la que ya no se den deformaciones en la forma que a adquirido el material acrílico.

El siguiente paso es suspender la presión del aire, retirar las prensas hidráulicas, retirar el domo de los marcos que forman el molde, cortar los sobrantes, limpiar y dar un buen acabado a la pieza terminada.

2.3.7 Enfriamiento de la pieza

El enfriamiento de la pieza se da durante el formado, utilizando ventiladores colocados en el techo sobre el banco de trabajo y apuntando hacia la pieza formada. Estos ventiladores se accionan justo en el momento en que la pieza alcanza la altura buscada y se mantienen prendidos hasta que se retira la pieza del banco de trabajo. Para luego dejarla enfriando al aire libre.

2.4 Principios para el rediseño del horno para el proceso de termoformado

La mejor sugerencia que se puede hacer al respecto, es solicitar a cualquier fabricante de hornos industriales la construcción de uno con las características ya mencionadas anteriormente, ya que la construcción sobre todo del sistema de calentamiento y la puesta en operación es muy riesgosa para cualquier persona con conocimientos superficiales sobre el tema.

Es también importante resaltar que la información que aquí se proporciona, está en función de la estructura metálica y sistema de fijación para la lámina de acrílico. La construcción del horno se puede dividir en los siguientes subtemas:

- a) Estructura
- b) Fijación de la lámina acrílica
- c) Sistema eléctrico
- d) Controles

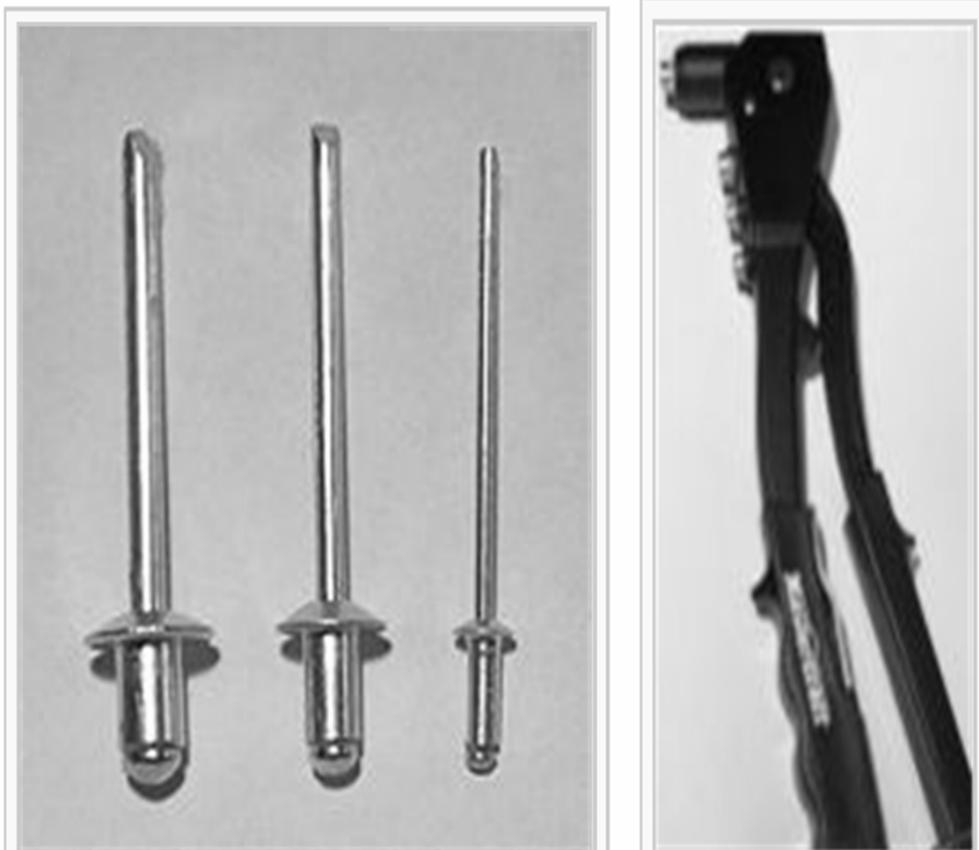
2.4.1 Estructura metálica

Se sugiere que el espesor de aislamiento sea de 2" como mínimo y que las puertas del horno sean lo más angostas posibles, para reducir al máximo la pérdida de temperatura.

La fabricación de la estructura con tubular de hierro comercial de 1 1/2" X 1 1/2" ó 2"X 2" deberá contar con los siguientes pasos básicos:

- a) Cortar el tubular a las medidas, según diseño adaptado a las necesidades.
- b) Soldar las paredes laterales.
- c) Soldar la pared superior, inferior y trasera; para unir las con las paredes laterales y así contar con la estructura completa.
- d) Forrar la parte interna de la estructura con lámina negra cal. 18, remachada con "pop" o punteada con soldadura eléctrica.

Figura 31. Remaches POP de aluminio y remachadora Mastercraft.

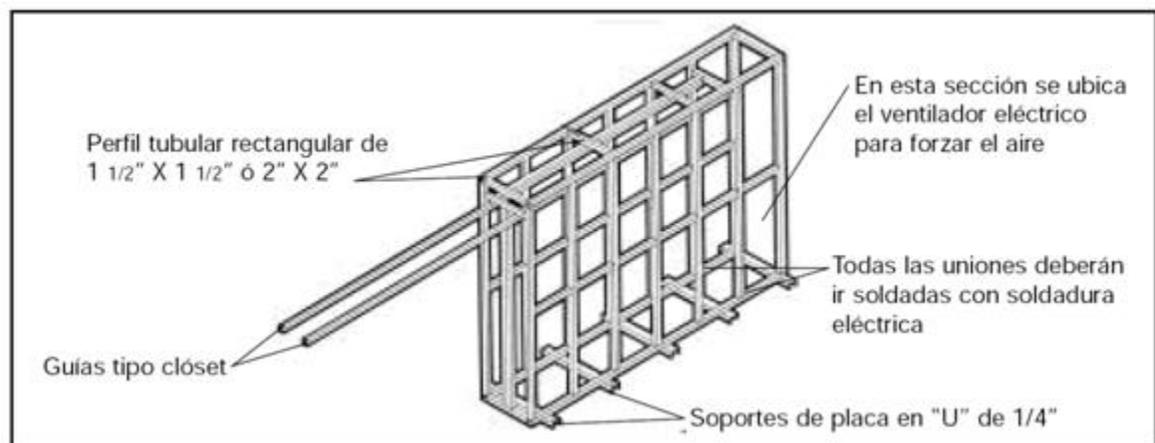


Fuente: Mastercraft catalogo de productos 2006. Pag. 32

- e) Cubrir los huecos (espesor del tubular) con placa rígida de fibra de vidrio para aislamiento térmico clave RF-4100, u otro similar.
- f) Forrar la parte exterior de la estructura con lámina negra cal. 18 y remachar con "pop" o soldar.
- g) Fabricar las puertas con estructura de tubular de PTR 1" X 1" y hacerla en la misma forma que las otras paredes; estas deberán ser más cortas para que pasen las guías.
- h) Colocar las puertas en el horno por medio de bisagras.

- i) Colocar en el horno guías tipo clóset, éstas deberán ser del doble de largo que el horno. Estas están fijadas por medio de tornillos en la pared superior. Una vez sujetas y en el lugar en donde va a quedar fijo éste, se sujetan las guías por medio de soportes al techo o estructura del local.

Figura 32. Estructura del horno con recirculación de aire.

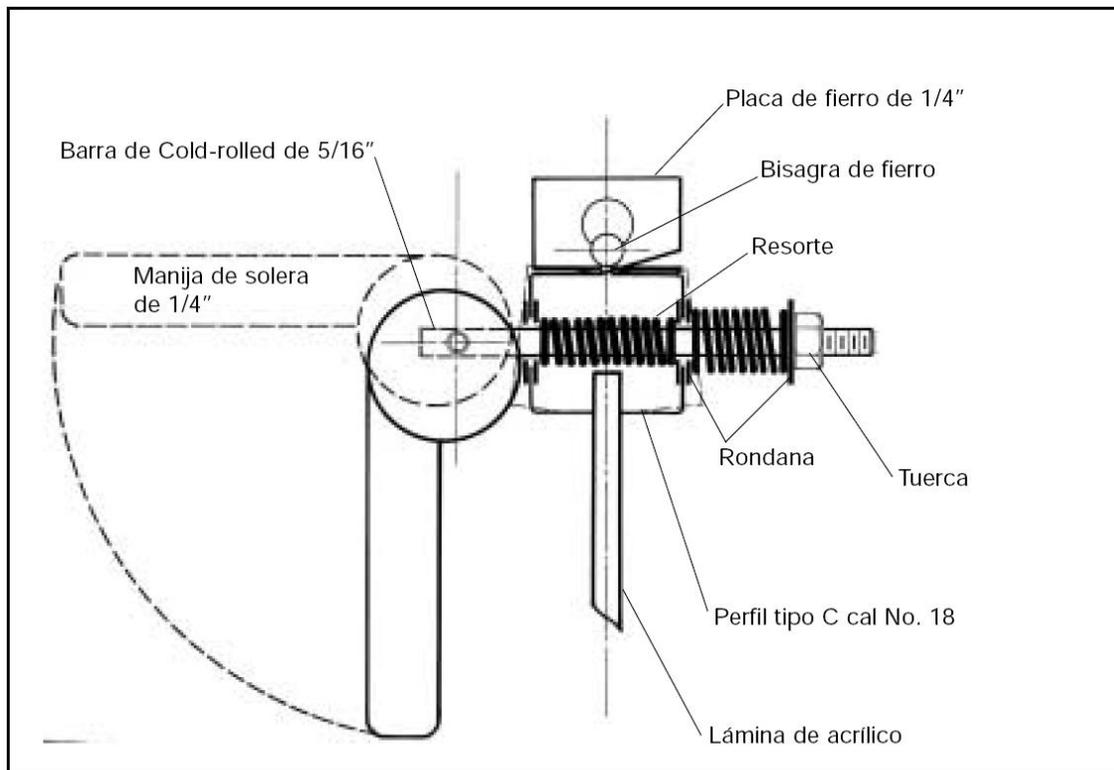


Fuente: Ramos del Valle, Luis Francisco. Extrusión de plásticos : principios básicos. Pág. 48

2.4.2 Fijación de la lámina acrílica

La fijación de la lámina acrílica se hará manualmente por medio de una manija de solera de 1/4" que con la ayuda de un resorte sostendrá la lámina presionándola con un perfil tipo C cal No. 18. Este sistema será soportado por una placa metálica donde se acopla la bisagra del perfil tipo C, que permite sujetar y liberar la lámina.

Figura 33. Sistema de fijación de la lámina de acrílico



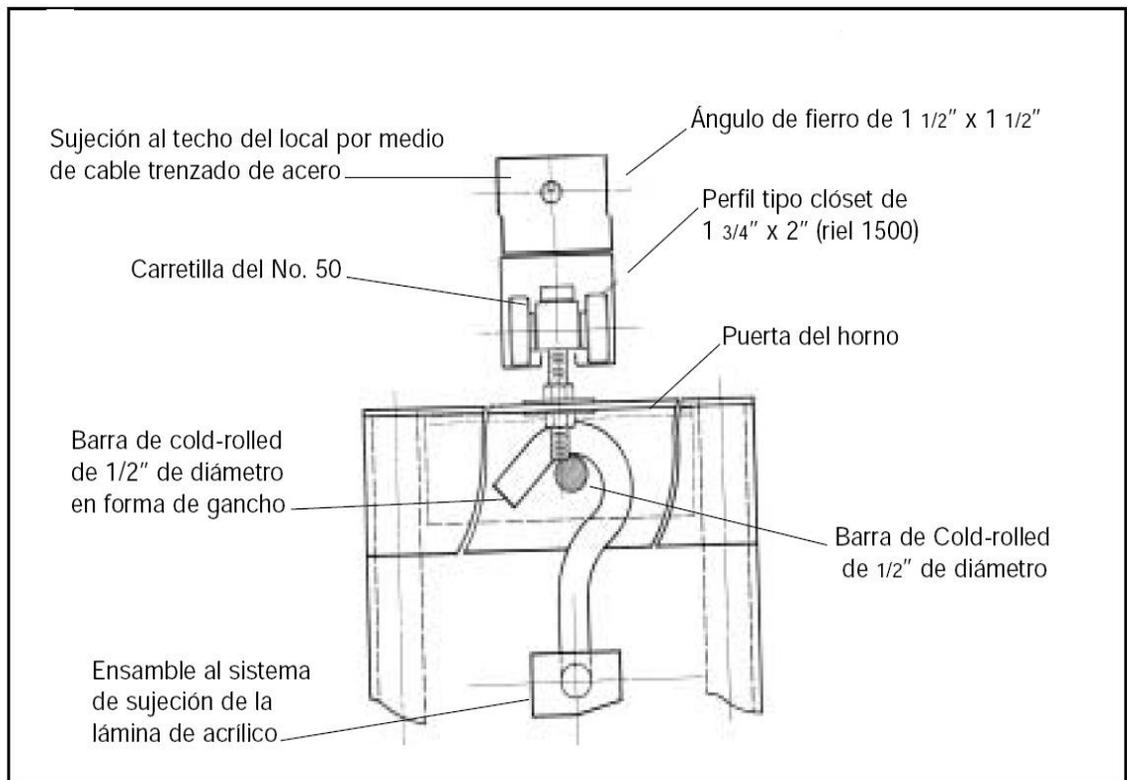
Fuente: Ramos del Valle, Luis Francisco. Extrusión de plásticos : principios básicos. Pág. 52

La sujeción al techo del sistema de corredera se puede hacer por medio de cualquier estructura metálica, sin embargo se sugiere que se haga por medio de cable trenzado de acero unido a una plancha metálica como la mostrada, ya que es funcional y economiza costos. Se pueden utilizar los datos de los elementos dados en la siguiente figura para un horno de 10 m^3 o modificarlos según sea necesario.

El sistema de sujeción se ensambla al sistema de corredera y la puerta por medio de una barra de cold-rolled en forma de gancho.

La forma del techo tiene entradas curvas para disminuir la pérdida de calor de la mejor manera posible y aumentar la eficiencia.

Figura 34. Vista frontal y detalle de la puerta del horno y sistema de corredera

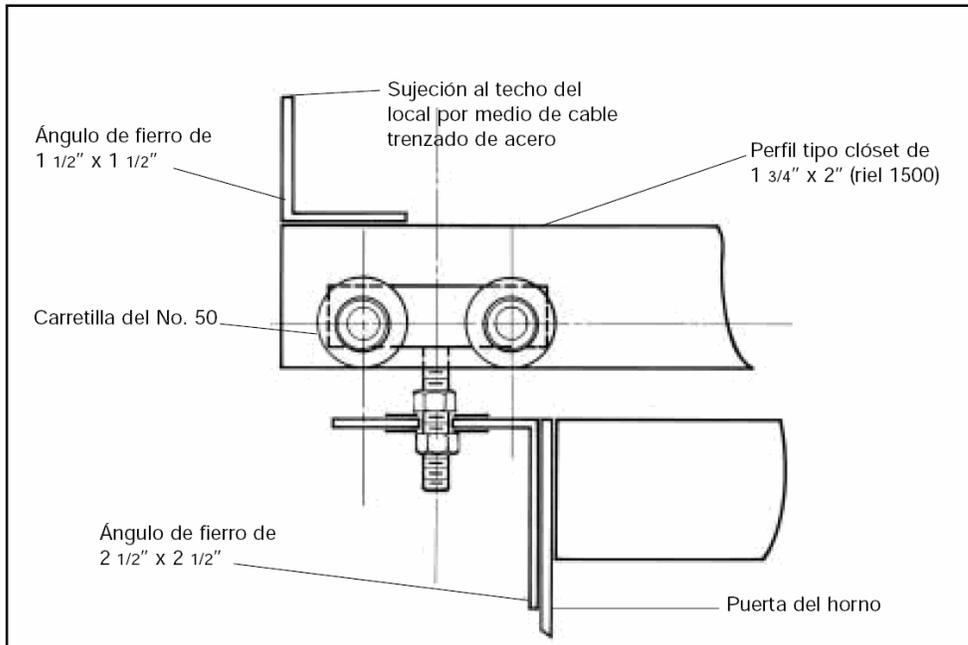


Fuente: Ramos del Valle, Luis Francisco. Extrusión de plásticos : principios básicos. Pág. 63

En la siguiente ilustración se muestra la unión del sistema de corredera a la puerta del horno por medio de un perno y una plancha metálica con sus medidas indicadas, además de dar los datos del tipo de riel utilizado.

Se cuenta con una puerta angosta para disminuir al máximo las pérdidas de calor al abrirla para colocar una nueva lámina dentro.

Figura 35. Vista lateral de la puerta del horno y sistema de corredera



Fuente: Ramos del Valle, Luis Francisco. Extrusión de plásticos : principios básicos. Pág. 68

2.4.3 Sistema eléctrico

El calentamiento puede ser suministrado por medio de gas o por unidades de resistencias eléctricas. Pero en este caso, el diseño se limitara a las resistencias eléctricas, por razones ya mencionadas.

Los hornos eléctricos pueden ser calentados, utilizando grupos de resistencias de 1000 watts. En el caso de usar un horno con capacidad de 10 m³, se consumirán, aproximadamente 25,000 watts de potencia y la mitad de ésta será utilizada para compensar la pérdida de calor por fugas, transmisión del aislamiento y por el uso de puertas.

Se dispondrán resistencias eléctricas en ambos lados del horno con el fin de lograr un calentamiento mas rápido y con el calor mejor distribuido en planchas muy gruesas y en planchas delgadas se utilizaran únicamente las resistencias de un solo lado. Para el funcionamiento de este sistema se utilizaran 2 switch o interruptores, uno para cada lado del horno.

La alimentación de energía hacia las resistencias de hará se la misma forma que la actual, por medio de aisladores de porcelana, pero se utilizara espuma aislante para sellar las fugas de calor.

La recirculación forzada de aire y deflectores para lograr que el aire circule de 4,500 a 6,100 cm³/min (150 a 200 pies³/min), son cruciales para obtener una temperatura homogénea. La temperatura del horno debe ajustarse a la temperatura de formado del plástico.

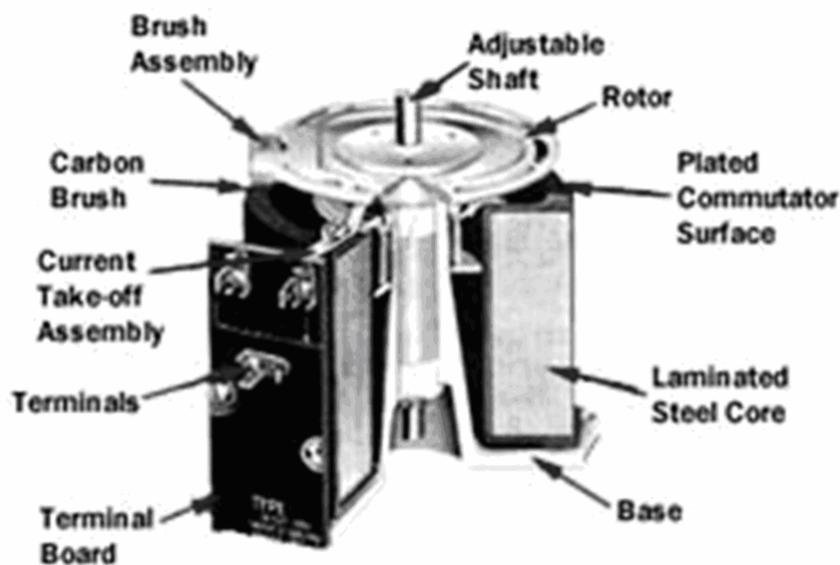
Se deben utilizar 2 ventiladores eléctricos, como mínimo, para forzar al aire caliente a circular por la lámina acrílica. Estos deberán colocarse en la parte alta y baja de la entrada del horno, apuntando hacia adentro y a la esquina contraria a 45°, donde se encuentran los difusores, que no son mas que curvas en las esquinas que causan un efecto leve de torbellino, suficiente para homogenizar la temperatura en el horno. La alimentación de electricidad a los ventiladores se hará de la misma manera que a las resistencias eléctricas.

Además se utilizará una línea de energía para el sistema de controles que se activará conjuntamente con cualquiera de los interruptores utilizados para accionar las resistencias del horno.

2.4.4 Controles

Se deben utilizar dispositivos automáticos para el control estricto de temperatura entre los 0 °C y 250 °C. Para regular la entrada de energía al equipo, es recomendable utilizar dispositivos tales como transformadores variables o medidores de porcentaje que ayuden al control de temperatura. Cualquiera de los que anteriormente se mencionaron deben ser instalados por un especialista y la calidad debe ser en función del proceso y el costo del mismo.

Figura 36. Transformador variable



Fuente: Hall, Malcolm M. Rubber products manufacturing technology. Pag. 68

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 que sirve 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.

Existen pirómetros en forma de cono, tablillas para calentamiento por radiación infrarroja (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 infrarroja, 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.

Figura 37. Pistola infrarroja



Fuente: Mastercraft catalogo de productos 2006. Pag. 45

Si se cuenta con un presupuesto que de la oportunidad de adquirir cualquiera de los equipos anteriores para censar la temperatura será lo mas indicado, pero se puede trabajar buscando parámetros en tiempo real. Evitando gastos mayores se podrían instalar un mirador y una pequeña compuerta en una de las paredes laterales del horno

para verificar el fenómeno del “cede” de la lámina acrílica, utilizando la compuerta para introducir una barra para palpar la lámina y observar por el mirador el comportamiento elástico de la misma. Con esto se podrá establecer un tiempo promedio de calentamiento adecuado para todos los tamaños de espesor estándar que se manejan en las láminas acrílicas y trabajar luego con estos tiempos.

Una vez establecidos los tiempos de calentamiento para cada lámina se procede a colocar un timer con alarma en el horno para evitar que se descuide el tiempo por cualquier distractor y se corra el riesgo de perder material por sobrecalentamiento.

Con los controles de temperatura y tiempo se obtiene un proceso mas tecnificado y eficaz que el actual, logrando aumentar la eficiencia, la eficacia, la reducción de costos del proceso y una recuperación rápida de la inversión, además de un control real de costos y ganancias.

CONCLUSIONES

1. La empresa “Talleres Polanco” tiene un proceso de producción muy deficiente, ya que utiliza un horno con pérdidas de calor por la mala fabricación del mismo, falta de controles de tiempo, energía y temperatura.
2. Se tiene dificultad en la tecnificación del conocimiento debido al tipo de procedimientos que se utilizan en la producción, poniendo énfasis en el calentamiento de la lámina acrílica y utilización del horno.
3. Con la utilización del presente manual se romperán los paradigmas del aprendizaje empírico, y poder aumentar la curva de eficiencia de los nuevos y los actuales empleados.
4. Las mejoras del desempeño del personal se verá reflejado conforme avance la inducción y se mejoren las condiciones de trabajo y el equipo.
5. Los principios para el rediseño del horno darán en su aplicación un mecanismo con más instrumentos y un costo mas elevado de equipo en general, pero facilitarán la producción tecnificándola, disminuirán las pérdidas de energía, una mayor velocidad de producción y facilidad de la capacitación.
6. Con este manual se proporcionó una buena parte de los conocimientos generales y específicos sobre la materia prima, del proceso de la planta y otros ajenos a ella, preparando al personal anticipadamente al crecimiento de la empresa que esta en búsqueda de la tecnificación y la automatización.

7. Por medio de la capacitación se aumentó los conocimientos del porque y el como del proceso, mejorando la calidad del desempeño laboral.
8. La utilización de las tablas de problemas y soluciones de este manual lo hacen formar parte del proceso como una herramienta de producción en casos especiales de toma de decisión.
9. Con un mejor manejo del equipo al dar un conocimiento mas profundo del proceso, se redujo el tiempo en un 25% y el costo de producción en 16%
10. Al cambiar el equipo y capacitar constantemente al personal sobre los procesos actuales y nuevos se logrará un proceso técnico y uniforme.

RECOMENDACIONES

A la Gerencia de Producción:

1. Utilizar el conocimiento adquirido en este manual para mejorar el equipo actual y realizar un mejor manejo del mismo, para evitar mayores pérdidas de calor.
2. Velar por un área de trabajo limpia ordenada que no deteriore en ambiente de trabajo.
3. Construir un nuevo horno que cumpla con los principios mínimos que se indican en este documento para aumentar la eficiencia y la eficacia en el proceso de producción.
4. Mantener una capacitación constante a todo el personal para evitar caer nuevamente en el empirismo y mantener un nivel de tecnificación adecuado en toda la planta.
5. Mantener a la mano varias copias de este documento como herramienta de fácil acceso, y como ayuda inmediata al personal de producción con las tablas de problemas y soluciones.
6. Procurar la constante innovación en la búsqueda de la tecnificación, automatización y capacitación, apoyándose en este documento, para aumentar la calidad de la mano de obra, del equipo, del proceso y por ende del producto.

Al Ingeniero de planta o de mantenimiento:

1. Desarrollar un plan de mantenimiento del horno, los subsistemas del mismo, el banco de trabajo, las prensas hidráulicas con las estructuras metálicas que las sostienen y los rieles de las mismas, además del sistema de aire comprimido y el ventilador de enfriamiento, para mantener en óptimas condiciones todos los equipos.
2. Utilizar inspecciones periódicas apoyándose en el sistema VOSO, desarrollando fichas de codificación de equipo, órdenes de trabajo y mecanismos para la asignación de las mismas, para tener un control que permita la gestión óptima del mantenimiento apoyado en documentos que respalden el buen desarrollo de las actividades.
3. Realizar mantenimiento predictivo por lo menos una vez cada 6 meses, en la búsqueda de pérdidas de calor, malos aislamientos o puntos calientes en la alimentación de energía eléctrica, fugas o exceso de humedad en el sistema de aire comprimido y un buen funcionamiento en los sistemas que contiene el banco de trabajo, para programar paros mayores si fueran necesarios, llevar un buen control y registro de los equipos y su evolución en las condiciones de trabajo a las que son sometidos.
4. No seguir apoyándose en el mantenimiento correctivo únicamente, ya que es mas costoso que el mantenimiento preventivo.

BILIOGRAFÍA

- 1 BAUMEISTER T. y otros. Manual del ingeniero Mecánico.
8ª. Edición México: Editorial McGraw Hill, 1987
2000 pp.
- 2 ELONKA Steve. Operación de plantas industriales.
2ª. Edición México: Editorial McGraw Hill, 1988.
683 pp.
- 3 PLASTIGLAS de México, S.A. Disposiciones relativas a la
construcción de los envases y embalajes, de los grandes
recipientes para granel (GRG), de los grandes embalajes y de
las cisternas y a las pruebas que deben superar. México: s.e.,
1998. 221 pp.
- 4 Morales, R.A. y M.V. Candal. “Diseño y fabricación
de un molde de termoformado utilizando herramientas CAD/CAE”
Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela
con fecha 080707. P. de colocación 83-89. 2007.

ANEXOS

TABLAS DE PROBLEMAS Y SOLUCIONES

DEFECTO	CAUSA POSIBLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
TERMOFORMADO TRIDIMENSIONAL (con y sin moldes)		
Burbuja o ampolla en la hoja.	<ul style="list-style-type: none"> • Humedad excesiva. • Calentamiento muy rápido. • Calentamiento no uniforme. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presecar la hoja. • Calentar los dos lados de la hoja a 60° C (140° F). • Reducir la temperatura del horno. • Incrementar la distancia entre la hoja y el calefactor. • Verificar y arreglar el horno. • Verificar elementos calefactores.
Detalles y formas incompletas.	<ul style="list-style-type: none"> • Vacío insuficiente. • Desplazamiento del vacío lento. • Calentamiento insuficiente de la hoja. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar obstrucciones en el sistema de vacío. • Incrementar número de perforaciones. • Aumentar diámetro de perforaciones. • Mayor capacidad de tanques y bomba de vacío. • Fuga de línea. • Verificar el sistema de vacío por posibles fugas. • Utilizar canales de vacío en áreas posibles. • Aumentar temperatura o tiempo de calentamiento.

DEFECTO	CAUSA POSIBLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
TERMOFORMADO TRIDIMENSIONAL (con y sin moldes)		
Cambio de color en la hoja	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento excesivo • Baja temperatura del molde • Baja temperatura de la ayuda mecánica. • La hoja se adelgaza demasiado. • Enfriamiento de la hoja antes de completar su forma. • Inadecuado diseño de molde. • Material no adecuado 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir tiempo de calentamiento. • Disminuir temperatura del orno. • Calentar molde. • Calentar ayuda mecánica. • Incrementar el espesor de la hoja. • Colocar más rápido la hoja en el molde. • Aumentar velocidad de vacío. • Calentar el molde y ayuda mecánica. • Disminuir profundidad del molde. • Mejorar el flujo de aire de vacío. • Usar radios de curvatura mayores. • Cambio material.
Alabeo o pandeo excesivo de la hoja	<ul style="list-style-type: none"> • Hoja muy caliente. • Hoja demasiado grande en área 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir tiempo de calentamiento. • Disminuir temperatura del horno. • Si es posible, reducir el tamaño de la hoja. • Utilizar pantallas, principalmente en el centro de la hoja (sólo para hornos con calentamiento infrarrojo).

DEFECTO	CAUSA POSIBLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
TERMOFORMADO TRIDIMENSIONAL (con y sin moldes)		
Marcas por enfriamiento en la pieza formada	<ul style="list-style-type: none"> • Hoja demasiado caliente • Ayuda mecánica con insuficiente temperatura • Baja temperatura del molde (El encogimiento cesa cuando hace contacto con el molde o ayuda fría). 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la temperatura del molde. • Disminuir tiempo de calentamiento. • Elevar la temperatura de la ayuda. • Usar fieltro o franela suave en la superficie de la ayuda. • Elevar temperatura del molde y/o ayuda, sin exceder los rangos de temperatura. • Suavizar y/o redondear el molde en áreas críticas.
Pequeñas arrugas o marcas circulares.	<ul style="list-style-type: none"> • Hoja muy caliente. • Barrenos de vacío muy grandes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la temperatura del molde. • Disminuir tiempo de calentamiento. • Rellenar y barrenar nuevamente a un diámetro más pequeño.
Variación en el pandeo de la hoja.	<ul style="list-style-type: none"> • No hay uniformidad de temperatura en la hoja. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que el horno no tenga corrientes de aire, es necesario incorporar deflectores.
Arrugas durante el formado.	<ul style="list-style-type: none"> • Excesivo calentamiento de la hoja. • Excesivo pandeo de la hoja. • Vacío insuficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir temperatura del horno. • Disminuir tiempo de calentamiento. • En la medida de lo posible, aumentar la distancia entre los calefactores y hoja (sólo para hornos de calentamiento por radiación infrarroja). • Disminuir el rango de temperatura de moldeo. • Verificar sistema de vacío. • Incrementar orificios de vacío o canales.

DEFECTO	CAUSA POSIBLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
TERMOFORMADO TRIDIMENSIONAL (con y sin moldes)		
Líneas o zonas muy brillantes.	<ul style="list-style-type: none"> • Hoja sobrecalentada en el área de brillo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar pantallas para disminuir el calor en la zona. • En la medida de lo posible, incrementar la distancia entre calefactores y la hoja (Sólo en hornos de calentamiento por radiación infrarroja). • Disminuir el tiempo de calentamiento.
Mala apariencia de la superficie de la pieza.	<ul style="list-style-type: none"> • Defecto causado por aire atrapado sobre la superficie lisa del molde. • Vacío insuficiente • Excesiva temperatura del molde. • Insuficiente temperatura del molde. • Superficie del molde demasiado áspera o rugosa. • Hoja sucia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sandblastear la superficie del molde. • Incrementar el número de orificios de vacío. • Si las marcas aparecen aisladas, incrementar el número de orificios de vacío en la zona afectada. • Disminuir la temperatura del molde. • Incrementar temperatura del molde. • Suavizar la superficie del molde. • Hacer otro molde con otro material. • Limpiar la hoja.
Distorsión excesiva o encogimiento después de desmoldar la pieza.	<ul style="list-style-type: none"> • Pieza desmoldada demasiado rápido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prolongar el ciclo de enfriamiento. • Pasar la pieza a una plantilla de enfriamiento. • Utilizar algún refrigerante. • Utilizar vapor de agua en spray para disminuir la temperatura de la pieza. • Utilizar ventiladores eléctricos para enfriar la pieza dentro del molde.

DEFECTO	CAUSA POSIBLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
TERMOFORMADO TRIDIMENSIONAL (con y sin moldes)		
Excesivo adelgazamiento del espesor de la pared de la pieza.	<ul style="list-style-type: none"> • Técnica inadecuada de formado. • Variación en el espesor del material. • Calentamiento desigual de la hoja. • La hoja está a una temperatura excesiva. • Molde frío. • La hoja no está firmemente sujeta en el marco. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar otra técnica de formado: vacío con retorno, presión de aire y ayuda mecánica, presión de aire y retorno con vacío. • Verificar que el material se encuentre dentro de las normas de calidad y/o solicitar reclamación del material. • Verificar la operación del horno. • Disminuir la temperatura del horno. • Disminuir tiempo de calentamiento. • Calentar el molde. • Incrementar presión de cierre. • Verificar posible variación en el espesor de la hoja.
Torcedura de las piezas.	<ul style="list-style-type: none"> • Pieza no enfriada convenientemente. • Distribución desigual del espesor de la pared. • Diseño de molde inadecuado. • Diseño inadecuado de la pieza. • Temperatura insuficiente del molde. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ajustar el ciclo de enfriamiento. • Usar ayuda mecánica o técnica de pre-estiramiento. • Posible calentamiento desigual de la hoja. • Incrementar orificios de vacío. • Modificar molde. • En la medida de lo posible, modificar las áreas planas con una pequeña curvatura. • Incrementar temperatura del molde.
Marcas de encogimiento en las esquinas.	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie del molde demasiado lisa. • Vacío insuficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sandblastear la superficie del molde. • Verificar sistema de vacío. • Agregar más orificios de vacío.

DEFECTO	CAUSA POSIBLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
TERMOFORMADO TRIDIMENSIONAL (con y sin moldes)		
Pre-estiramiento de la burbuja no uniforme.	<ul style="list-style-type: none"> • Insuficiente temperatura de la hoja. • Espesor desigual de la hoja. • Presión de aire insuficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar condición de operación del horno. • Utilizar pantallas de enfriamiento (Sólo en hornos de calentamiento por radiación infrarroja). • Mayor tiempo de calentamiento a una menor temperatura. • Incorporar un sistema de distribución de aire con deflectores.
Esquinas de espesor delgado en formados de profundidad.	<ul style="list-style-type: none"> • Técnica de formado inadecuada. • Hoja de espesor delgado. • Calentamiento no uniforme de la hoja • Calentamiento inadecuado del molde. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar a otra técnica de formado. • Incrementar espesor de hoja. • Verificar la operación del horno. • Utilizar pantallas para cambiar la distribución de calor. • Cambiar la temperatura del molde.
La pieza se amarra a la ayuda mecánica.	<ul style="list-style-type: none"> • Ayuda mecánica (madera). • Ayuda mecánica (metal). 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar agente desmoldante. • Cubrir con fieltro o franela suave. • Aplicar agente desmoldante. • Bajar temperatura de la ayuda. • Cubrir con fieltro o franela.
La pieza se amarra al molde.	<ul style="list-style-type: none"> • Alta temperatura de la pieza. • El ángulo de salida del molde es insuficiente. • Molde construido en madera. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prolongar el tiempo de enfriamiento. • Disminuir temperatura del molde. • Dar ángulo entre 1° y 3°. • Cambiar a molde hembra. • Aplicar agente desmoldante.

DEFECTO	CAUSA POSIBLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
TERMOFORMADO TRIDIMENSIONAL (con y sin moldes)		
Las esquinas de la pieza formada se estrellan una vez en servicio.	<ul style="list-style-type: none"> • Inadecuado diseño de la pieza. • Concentración de esfuerzos en la pieza. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rediseñar la pieza. • Aumentar el radio de curvatura del molde. • Aumentar la temperatura de termoformado. • Asegurarse que la pieza ha sido completamente formada antes de que se enfríe por debajo de la temperatura de moldeo.

DEFECTO	CAUSA POSIBLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
TERMOFORMADO BIDIMENSIONAL (doblez lineal)		
Burbujas en la zona de doblez	<ul style="list-style-type: none"> • Sobre calentamiento de la pieza 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir temperatura y/o tiempo
Arrugas en la zona de Doble	<ul style="list-style-type: none"> • Pieza demasiado fría 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar temperatura y/o tiempo
Arqueo en la zona de Doble	<ul style="list-style-type: none"> • Sobre calentamiento de la pieza 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir temperatura y/o tiempo

DEFECTO	CAUSA POSIBLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
ALMACENAJE Y MANEJO		
Deformación de la lámina	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenaje junto a fuentes de calor como radiadores, hornos o líneas de vapor. • Almacenaje en posición vertical con rack o sin éste (mal almacenaje). 	<ul style="list-style-type: none"> • Alejar las fuentes de calor. • Reubicar zona de almacenaje. • Almacenar en racks con una inclinación en la base de 10° y no mayor a 25 cms.
Craqueo de la lámina	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenaje junto a vapores de solventes o cercanos a lugares como área de pinturas, impresión, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenar en posición horizontal. • Alejar todo tipo de solventes. • Reubicar zona de almacenaje.