DISEÑO DE MÁQUINA TERMOFORMADORA DIDACTICA PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS

DANIEL FERNEY FORERO LÓPEZ
DANIEL ENRIQUE SANTANA ACERO
HUGO LEONARDO PIRACUN

UNIEVRSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS
ESPECIALIZACION EN GESTION DE PROYECTOS DE INGENIERIA
BOGOTÁ D.C.
2018

DISEÑO DE MÁQUINA TERMOFORMADORA DIDACTICA PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS

PRESENTADO POR:

DANIEL FERNEY FORERO LÓPEZ
DANIEL ENRIQUE SANTANA ACERO
HUGO LEONARDO PIRACUN ROMERO

DIRECTOR:

JAIRO GONZALEZ PEÑARETE

BOGOTÁ D.C.
2018

Nota de aceptación

_____
_____
_____
_____

_____
Presidente de Jurado

_____
Jurado

_____
Jurado

Bogotá D.C.

CONTENIDO

pág.

0. INTRODUCCIÓN 18

1. JUSTIFICACIÓN 19

2. OBJETIVOS 21

2.1. GENERAL 21

2.2. ESPECÍFICOS 21

3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 22

3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 22

3.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 23

3.3. MATRIZ DE MARCO LAGICO 24

3.3.1. DIAGRAMA REALCION CAUSA EFECTO 24

3.3.2. MATRIZ DE PARTICIPANTES 25

3.3.3. ARBOL DE PROBLEMAS 25

3.3.4. ARBOL DE OBJETIVOS 26

3.3.5. ANALICIS DE ALTERNATIVAS 26

4. MARCO DE REFERENCIA 27

5. MARCO TEÓRICO 28

5.1. LOS POLÍMEROS 28

5.1.1. RESEÑA HISTÓRICA DE LOS POLÍMEROS 29

5.1.2. ETIMOLOGÍA. 30

5.1.3. PROPIEDADES DE LOS POLÍMEROS 30

5.1.4. CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS....34

5.1.5. FABRICACIÓN DE ARTÍCULOS EN POLÍMERO....37

6. INGENIERÍA DEL PROYECTO: CÁLCULO Y DISEÑO DE MÁQUINA TERMOFORMADORA....72

6.1. RESTRICCIONES Y LIMITACIONES 72

6.2. PARÁMETROS DE DISEÑO 72

6.3. FACTORES A ANALIZAR....73

6.4. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO 74

6.4.1. SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE LA LÁMINA. 75

6.4.2. SISTEMA ESTRUCTURAL 75

6.4.3. SISTEMA DE FORMADO....76

6.4.4. SISTEMA MOTRIZ PARA DESPLAZAMIENTO DE LA LÁMINA....76

6.4.5. SISTEMA DE CONTROL 77

6.5. DISEÑO Y MODELADO DEL DISPOSITIVO 79

6.5.1. DISEÑO DE ELEMENTOS Y SISTEMAS DE LA MÁQUINA TERMOFORMADORA....79

7. EVALUACIÓN ECONÓMICA 109

7.1. COSTO DEL PROYECTO....109

7.2. EVALUACIÓN MEDIANTE INDICADORES....111

8. SIMULACIÓN DE LA MÁQUINA 114

9. MANUAL DE USUARIO 119
9.1. INSTRUCCIONES DE USO 119
9.2. SÍMBOLOS E IDENTIFICACIONES: 120
9.2.1. ADVERTENCIAS: 120
9.2.2. OTROS SÍMBOLOS: 121
9.3. SEGURIDAD INDUSTRIAL 121
9.4. IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL EQUIPO: 121
9.5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS 122
9.6. MANTENIMIENTO 123
9.6.1. INSPECCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL: 123
9.6.2. INSPECCIÓN DEL CIRCUITO ELÉCTRICO: 124
9.6.3. INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE FORMADO: 124
9.6.4. INSPECCIÓN DEL SISTEMA TÉRMICO: 125
9.7. CONDICIONES AMBIENTALES DE FUNCIONAMIENTO: 125
10. CONCLUSIONES 126
11. RECOMENDACIONES 128
ANEXOS 129
BIBLIOGRAFÍA 142

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de las tres clases de polímeros. 34
Tabla 2. Termoplásticos cristalinos. 35
Tabla 3. Termoplásticos amorfos 36
Tabla 4. Plásticos termoformable 36
Tabla 5. Elastómeros comerciales 37
Tabla 6. Materiales para moldes 51
Tabla 6. Materiales para moldes. (Continuación) 52
Tabla 7. Temperatura de trabajo de polímeros comunes 53
Tabla 8. Tipos de vacío 58
Tabla 9. Bombas según vacío requerido 58
Tabla 10. Calificación de factores y variables 74
Tabla 10. Calificación de factores y variables. (Continuación). 75
Tabla 11. Alternativa para el sistema de calentamiento de la lámina 75
Tabla 12. Alternativa para el sistema estructural 76
Tabla 13. Alternativa para el sistema de formado 76
Tabla 14. Alternativa para el sistema motriz 77
Tabla 15. Alternativa para el sistema de control. 77
Tabla 16. Cargas en los apoyos 105
Tabla 17. Costos del proyecto 109
Tabla 17. Costos del proyecto (continuación) 110
Tabla 18. Costos totales del proyecto 111
Tabla 19. Asignaturas relacionadas con el proyecto 112

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diversos elementos fabricados en plástico. 28
Figura 2. Gráfico esfuerzo-deformación 31
Figura 3. Clasificación de los polímeros. 35
Figura 4. Inyección de plástico 38
Figura 5. Extrusión de plástico 39
Figura 6. Soplado de plástico 40
Figura 7. Colada de plástico 40
Figura 8. Calandrado de plástico 41
Figura 9. Expansión de plásticos 42
Figura 10. Termoformado al vacío directo 44
Figura 11. Conformado por macho 44
Figura 12. Conformado de molde coincidente 45
Figura 13. Conformado al vacío con núcleo de ayuda y burbuja de presión 45
Figura 14. Conformado al vacío con ayuda de núcleo 46
Figura 15. Conformado a presión con ayuda de núcleo 47
Figura 16. Conformado a presión en fase sólida 47
Figura 17. Conformado en relieve profundo al vacío 48
Figura 18. Conformado en relieve al vacío con burbuja a presión 48
Figura 19. Conformado por presión térmica de contacto de lámina atrapada 49
Figura 20. Conformado con colchón de aire 49
Figura 21. Conformado libre 50
Figura 22. Conformado mecánico 50
Figura 23. Bosquejo de termoformadora 78
Figura 24. Diseño de termoformadora 79
Figura 25. Resistencia eléctrica para el calentamiento. 81
Figura 26. Estructura o chasis 83
Figura 27. Esquema de la estructura para el análisis de cargas 84
Figura 28. Diagrama de cuerpo libre de las columnas. 85
Figura 29. Sección transversal del perfil 86
Figura 30. Diagrama de cuerpo libre de las vigas. 88
Figura 31. Diagrama de fuerza cortante de la viga en perfil cuadrado 89
Figura 32. Diagrama de momento flexionante de la viga en perfil cuadrado 90
Figura 33. Sección transversal y D.C.L de perfil en ángulo 92
Figura 34. Diagrama de fuerza cortante de perfil en ángulo 93
Figura 35. Diagrama de momento flexionante de perfil en ángulo 93
Figura 36. Sección del perfil en ángulo a analizar 94
Figura 37. Sistema de vacío de la termoformadora 95
Figura 38. Sistema motriz. 97
Figura 39. Esquema mecanismo tijera 98
Figura 40. Esquema trigonométrico del mecanismo de tijera 98
Figura 41. Esquema del mecanismo tijera retraído 100
Figura 42. Ubicación del cilindro en la posición de retracción 101

Figura 43. Ubicación del cilindro en posición de extensión.....102
Figura 44. Diagrama de cuerpo libre de la barra ACE 102
Figura 45. Diagrama de cuerpo libre de la barra DCB 103
Figura 46. Diagrama de cuerpo libre de la barra DFH 104
Figura 47. Diagrama de cuerpo libre de la barra GFE 104
Figura 48. Cargas en el cilindro 106
Figura 49. Derecha: sensor, izquierda: controlador de temperatura 107
Figura 50. Diagrama del sistema de control 108
Figura 51. Termoformadora energizada. 114
Figura 52: Diagrama electro neumático. 115
Figura 53. Marco de sujeción en posición inicial. 115
Figura 54. Lámina de polímero reblandecida. 116
Figura 55. Marco con lámina a punto de adoptar forma del molde. 116
Figura 56. Lamina caliente sobre el molde. 117
Figura 57. Lámina formada y refrigerada 117
Figura 58. Producto final, listo para recortar. 118

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Propiedades de los elementos de la máquina según programa. 129
Anexo B. Fuerzas teóricas para cilindros neumáticos. 131
Anexo C. Métodos más frecuentes de unión con adhesivos. 132
Anexo D. Métodos más frecuentes de unión con adhesivos estructurales. 133
Anexo E. Especificaciones técnicas y dimensionamiento de ruedas de apoyo. .. 134
Anexo F. Elementos neumáticos, cilindros. 135
Anexo G. Elementos neumáticos, accesorios de cilindros. 136
Anexo H. Elementos neumáticos, válvulas direccionales. 137
Anexo I. Elementos neumáticos, válvulas de paso. 138
Anexo J. Elementos neumáticos, reguladores de escape. 139
Anexo K. Elementos neumáticos, unidades FR+L 140
Anexo L. Elementos de control y maniobra 141

GLOSARIO

AGLOMERADO: plancha de fragmentos de madera prensados y mezclados con cola.

ARIETE: mecanismo semejante a un embolo usado para empujar o impulsar un material a través de un molde.

BIAXIAL: que tiene dos ejes.

BLÍSTER: envase para manufacturados pequeños que consisten en un soporte de cartón o cartulina sobre el que va pegada una lámina de plástico trasparente con cavidades en las que se alojan los distintos artículos.

CALANDRADO: Proceso de convertir un polímero fundido, en una lámina o película.

CLARABOYA: ventana abierta en el techo o en la parte alta de las paredes..

COVALENTE: enlace que tiene lugar entre átomos al compartir pares de electrones.

ELASTÓMERO: material natural o artificial que, como el caucho, tiene gran elasticidad.

ELONGACIÓN: alargamiento de una pieza sometida a tracción antes de romperse.

EPOXI: Tipo de resina de alta resistencia.

ERGONOMÍA: estudio de datos biológicos y tecnológicos aplicados a problemas de mutua adaptación entre el hombre y la máquina.

ETIMOLOGÍA: origen de las palabras, razón de su existencia, de su significado y de su forma.

EXTRUDIR: dar forma a una masa metálica, plástico, etc., haciéndola pasar por una abertura especialmente dispuesta.

INERCIA: propiedad de los cuerpos de no modificar su estado de reposo o movimiento si no es por la acción de una fuerza.

KEVLAR: poliamida sintetizada cuyas fibras consisten en largas cadenas de poliparafenileno tereftalamida.

MONÓMERO: Compuesto de bajo peso molecular cuyas moléculas son capaces de reaccionar entre sí o con otras para dar lugar a un polímero.

NIPLE: segmento de tubo, liso o roscado en sus extremos.

PIRÓMETRO: instrumento para medir temperaturas muy elevadas.

POLIMERIZACIÓN: reacción química en la que dos o más moléculas se combinan para formar otra en las que se repiten unidades estructurales de las primitivas y su misma proposición porcentual cuando estas son iguales.

POLÍMERO: compuesto químico, natural o sintético, formado por polimerización y que consiste esencialmente en unidades estructurales repetidas.

POLIOLEFINA: producto obtenido mediante la polimerización de una olefina (alqueno; tipo de hidrocarburo).

RECIPROCANTE: que responde a una acción con otra semejante.

RESILIENCIA: capacidad de un material elástico para absorber y almacenar energía de deformación.

RESISTENCIA TENSIL: Capacidad que un polímero tiene de soportar un estiramiento o estar bajo tensión.

RETICULAR: de forma de redecilla o red.

SOLVENTE: sustancia que puede disolver y producir con otra una mezcla homogénea.

TENACIDAD: cualidad de un material de oponer resistencia a romperse o deformarse.

TERMOESTABLE: que no pierde la forma por la acción del calor y de la presión.

TERMOPAR: dispositivo para medir temperaturas mediante las fuerzas electromotrices originadas por el calor en las soldaduras de dos metales distintos.

TRANSDUCTOR: dispositivo que transforma el efecto de una causa física, como la presión, la temperatura, la dilatación, la humedad, etc., en otro tipo de señal normalmente eléctrica.

VOLATILIZACIÓN: transformación espontánea de una sustancia a vapor.

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

A	Amperio
A	Área
A_y	Reacción en el eje y del punto A
B_y	Reacción en el eje y del punto B
c	Centroide
C_y	Reacción en el eje y del punto C
D_y	Reacción en el eje y del punto D
D/ Ø	Diámetro
E_y	Reacción en el eje y del punto E
E	Módulo de elasticidad
F	Fuerza
F_y	Reacción en el eje y del punto F
G_y	Reacción en el eje y del punto G
GND	Conexión a tierra
H_y	Reacción en el eje y del punto H
I_y	Reacción en el eje y del punto I
J_y	Reacción en el eje y del punto J
K	Longitud efectiva para columna
W	Vatio
ºC	Grado Celsius
ºF	Grado Fahrenheit
N	Factor de seguridad
p	Potencia

d	Densidad
ε	Emisividad
L	Longitud
Tz	Temperatura de alrededores
As	Área superficial
I	Momento de inercia
R	Radio de giro
Le	Longitud efectiva
Re	Relación de esbeltez
Cc	Relación de esbeltez de transición
$M_{máx.}$	Momento flector máximo
σ	Esfuerzo causado por flexión
n	Cantidad de elementos
Vn	Volumen al interior del molde
Vt	Volumen de la tolva
Vd	Volumen a desplazar
F	Flujo volumétrico
PP	Polipropileno
PE	Poliestileno
POM	Poliacetal
PA	Poliamida
PC	Policarbonato
PMMA	Poli metacrilato de metilo
PS	Poliestireno

PVC	Policloruro de vinilo
BR	Elastómero de butadieno
CR	Elastómero de cloropreno
PCP	Neopreno
PUR	Poliuretano
UP	Polyester insaturado
PF	Fenol formaldehido
MF	Melamina/ formaldehido
PF	Baquelita

RESUMEN

Equipar e innovar los laboratorios de la Universitaria Distrital Francisco José de Caldas con el fin de mejorar las prácticas y hacer más didáctico el aprendizaje de todos los estudiantes de la institución, es una tarea que se está haciendo constantemente para beneficio mutuo.

En la realización de esta tarea, se determinó calcular y diseñar una máquina de termoformado por molde y vacío que cumpla con las necesidades básicas de funcionalidad y que en el evento de ser construida, preste un servicio de calidad a todos los estudiantes tanto de programas de ingeniería como de otras carreras de la Universidad.

En el presente proyecto de grado se describe la forma en que se desarrolla el diseño de dicha máquina, desde su cálculo, analizando varias alternativas de construcción en cuanto a dimensiones, materiales, sistemas mecánicos, eléctricos, neumáticos y su operación, hasta la simulación y elaboración de un manual de usuario en donde se discrimina paso a paso su operación y mantenimiento. De igual forma se mencionan los distintos tipos de termoconformado existentes con descripción, ventajas y desventajas.

Gran parte del informe, está dedicado al marco teórico y todo lo concerniente al procesamiento del plástico, haciendo un recorrido por los distintos procesos y desde luego explicando cada una de sus características.

Algunas tablas, gráficos e imágenes en general, complementan la teoría y facilitan la interpretación de todo lo consignado de tal forma que al momento de revisar su contenido sea fácil hallar una trazabilidad lógica que comienza con la introducción y el objetivo del proyecto, y finaliza con el diseño del dispositivo.

Palabras Clave:

- Prácticas
- Diseñar
- Máquina
- Termoformado
- Molde
- Vacío

0. INTRODUCCIÓN

El descubrimiento de los materiales poliméricos cambio la historia del ámbito industrial, comercial y domestico gracias a las infinitas propiedades físico – químicas que estos aportan y que reemplazan con ventajosas características los tradicionalmente usados en la fabricación de utensilios en general. Si bien la palabra polímero hace referencia al plástico (en su significado más global)- uno de los muchos materiales de ingeniería existentes; hoy en día se habla de Ingeniería de plásticos debido a la complejidad y alcance de sus aplicaciones como también a los diversos métodos de transformación y acondicionamiento de los mismos.

Uno de los procesos más usados en la transformación del plástico es el TERMOCONFORMADO, también conocido como TERMOFORMADO cuyo principio básico es calentar una lámina de un semielaborado termoplástico de tal forma que al ponerse blanda pueda adaptarse a la forma de un molde por medio de presión o de succión de aire. Es justamente este proceso el tema central de este trabajo y el punto de partida para dar solución al problema planteado de calcular y diseñar una máquina termoformadora que cumpla con funciones básicas para la enseñanza didáctica a los estudiantes de Ingeniería mecánica, industrial y demás carreras de la Universidad Francisco Jose de Caldas que puedan requerirla.

En este proyecto se ondearan entre otros, temas como: generalidades de los plásticos, métodos de transformación y de forma más profunda lo referente a los polímeros termoplásticos, el funcionamiento de una maquina termoformadora, características y limitantes del proceso, ventajas del mismo, equipos ya existentes para tal fin, necesidad actual de la universidad, planteamiento de las soluciones posibles y la selección de una de ellas con el propósito de resolver de la mejor forma dicho requerimiento aplicando conocimientos adquiridos en la especialización y poniendo a disposición toda la creatividad, anexando incluso un boceto de lo que podría ser la futura termoformadora del laboratorio de materiales de ingeniería de la Universidad.

1. JUSTIFICACIÓN

Para la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas es importante crear ambientes aptos para el aprendizaje y la formación así como lo es mejorar los espacios ya existentes con el fin de posicionarse cada vez mejor entre las mejores instituciones de educación superior del país. Las adecuaciones y mejoras físicas en la planta, la ampliación de los talleres, aulas, etc., y la dotación de estos es una forma de ganar reconocimiento así como también es una forma de mejorar su oferta educativa y tornarse más atractiva para todos los nuevos estudiantes que buscan su futuro a la hora de seleccionar una universidad.

Haciendo particular énfasis en los laboratorios, en los que se encuentran algunos de los activos más costosos de la misma, se evidencia la falta de muchos dispositivos – unos obligatoriamente necesarios, otros que serían muy útiles – para la actividad del docente en el ejercicio de dictar su cátedra y hacerla tanto didáctica como práctica.

Entre los muchos beneficios que podría tener una máquina de termoformado, se encuentran los sociales y los económicos: Un dispositivo útil para la universidad y producto de todo un trabajo en equipo puede representar una motivación para los estudiantes que lo usen y empiecen a pensar en crear o reacondicionar algo con el fin de graduarse.

Diseñar una termoformadora didáctica estética y técnicamente funcional para que todo aquel que la manipule encuentre en ella mucha comodidad además de facilidad para trabajar, es un reto alcanzable que tiene beneficios innumerables para estudiantes y maestros. Los docentes tendrán una excelente opción y la total tranquilidad de que la maquina funcionaria perfectamente cumpliendo con su objetivo.

Desarrollar herramientas en la universidad, para la universidad, por estudiantes de la misma, trae consigo consecuencias solo positivas si se piensa en que dichos desarrollos serian fiel testimonio de la calidad de programas académicos que tiene la institución y de una u otra forma impulsan la oferta académica.

En este orden de ideas, ya se está hablando de que no solo es una maquina dirigida particularmente a estudiantes de ingeniería, sino que también puede ser concebida como una herramienta útil para estudiantes de diferentes carreras como Artes plásticas y visuales, Licenciaturas y Tecnologias, haciendo parte integral en el desarrollo de otros proyectos o; desde una perspectiva más ambiciosa, haciendo aportes importantes a lo largo de la formación académica de toda la comunidad Universitaria.

Referente a los beneficios económicos, se resaltan: La reducción de las grandes inversiones en equipos bajo marcas reconocidas en los que las clausulas, garantías, adendas, condiciones, etc. no se harían esperar y que a su vez representarían un flujo de dinero que perfectamente podría emplearse tanto en la fabricación de la máquina como para cubrir algunas otras necesidades de la universidad. Esto significa que por ser un diseño propio, bajo la directriz de la universidad, se hace imprescindible la calidad y garantía de funcionamiento, como también, se hace estrictamente necesario desarrollar una idea de óptima calidad, belleza y 100% funcional ya que va a ser un activo de uno de los laboratorios. Adicionalmente, como en toda entidad pública, existen procesos internos y externos de auditoria en los que evidentemente el diseño seria evaluado bajo los mismos criterios con los que son evaluados los otros que ya están hace un buen tiempo. Esta cohesión de aspectos benéficos en el ámbito social, técnico y económico seria la clave para dar solución integral al problema. Partiendo de este supuesto, y bajo la premisa de “trabajar con calidad”, el compromiso con la universidad y con todos los involucrados con el proyecto es enorme pero con toda seguridad el resultado no sería otro que el de total satisfacción.

2. OBJETIVOS

2.1. GENERAL

- Diseñar una maquina termoformadora didáctica para el laboratorio de materiales de ingeniería de la universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.

2.2. ESPECÍFICOS

- Consultar los antecedentes del proceso de termoformado.
- Documentar toda la información técnica referente al termoformado
- Calcular una máquina de Termoformado para el laboratorio de materiales de ingeniería de la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Calcular una estructura adecuada cuya resistencia y presentación garanticen la seguridad y confiabilidad del equipo.
- Diseñar una máquina de Termoformado para el laboratorio de materiales de ingeniería de la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Diseñar un sistema térmico eficiente que permita calentar simultáneamente toda la lámina que va a ser sometida al proceso de termoformado.
- Implementar un sistema de vacío cuyas especificaciones técnicas y dimensionales estén acorde a las necesidades y características del dispositivo.
- Diseñar un sistema de control sencillo con el que se puedan manipular la parte térmica, neumática y con el que se pueda tener el control total del dispositivo.
- Simular el proceso de funcionamiento de una máquina de Termoformado para el laboratorio de materiales de ingeniería de la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Elaborar el respectivo manual de uso y mantenimiento de la máquina de termoformado

3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el desarrollo de un programa académico de formación superior, se adoptan infinidad de recursos con el fin de canalizar mejor la información y de transmitir de la manera más eficiente el conocimiento. Para muchas asignaturas dictadas hoy en día en la Universidad, existe un valor agregado importante y amigable tanto para los estudiantes como para los docentes, como lo es el uso de laboratorios dotados de equipos y utensilios óptimos para poner en práctica las teorías aprendidas en el aula. Para los docentes es un apoyo así como también la mejor manera de demostrar lo que en su cátedra expusieron y para los alumnos es la forma más fácil de asimilar y conceptualizar las ideas. No obstante cubrir totalmente las necesidades y tener el cien por ciento de los dispositivos ideales en un laboratorio determinado implica una cuantiosa inversión que muchas veces resulta difícil de cubrir por los elevados costos de dichos elementos. Sin embargo, en la mayoría de casos y con grandes esfuerzos, la institución invierte en algunos equipos con el fin de actualizarse en tecnología y hacer parte de esta era de innovación.

En la tarea de complementar la teoría por medio de los laboratorios, surge en la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, la necesidad puntual de implementar un equipo con el cual se pueda ejemplificar y poner en práctica lo visto en la asignatura de ciencia de los materiales; quizá no en toda su magnitud, pero si abarcando algunos de los temas como por ejemplo la transformación del plástico para ponerlo al servicio de la institución o en dado caso al servicio de la sociedad.

Como es evidente, el problema planteado no es un vacío en conocimiento, sino la necesidad adquirir algo que ya existe pero que por muchas variables se determinó diseñar por cuenta propia. La forma, los cálculos, la consulta, el espacio con el que se cuenta para la instalación del equipo, etc., son algunas de esas variables.

Desde este punto de vista el problema planteado combina la aplicación de diversas disciplinas con el fin de obtener un diseño de una maquina funcional de termoformado con la que se puedan cubrir las actuales necesidades como lo son la presencia de un dispositivo de este tipo en la universidad, la urgente adaptación de prácticas de laboratorio para asignaturas de diversas carreras que hasta ahora no tenían , el cubrimiento de conceptos ejemplificados en el amplio tema de los termoplásticos visto en la asignatura de ciencia de los materiales y la más importante, la de desarrollar con éxito un equipo ya existente pero esta vez bajo la directriz y nombre de la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.

3.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

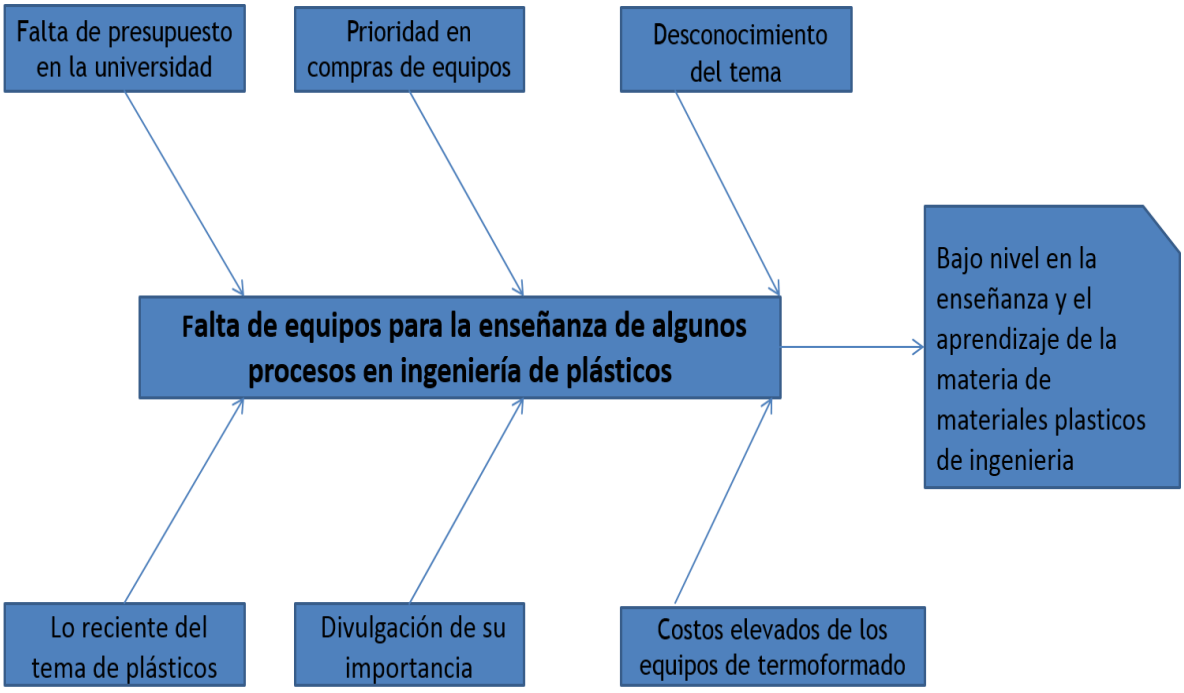
Realizando una inspección en los laboratorios de la universidad, se observa la carencia de equipos que apoyen la carrera de Ingeniería mecanica e industrial, en la asignatura de ciencia de los materiales, cuyo campo es tan extenso como su nombre lo indica: Prácticamente el tema de los polímeros requiere de un estudio profundo y sus infinitos contenidos dieron origen a una nueva carrera en el arte de la ingeniería. Para esa ausencia de dispositivos que permitan el desarrollo y complementación de muchos conceptos en el tema de los plásticos, se propone diseñar una maquina didáctica con la cual se pueda hacer algún tipo de procedimiento en el que se evidencien las características de algunos polímeros, métodos de transformación y aplicaciones a nivel industrial con la finalidad de familiarizar al estudiante con este amplio campo que hoy en día ocupa los primeros lugares de la producción mundial. Se determinó diseñar una maquina básica de termoformado, por su sencillez y diversas aplicaciones.

Uno de los problemas presentes y que es causa directa de la necesidad actual de disponer de un equipo de termoformado, es adaptar de la mejor manera las características de un invento ya existente, para que encaje perfectamente en el ambiente universitario sin incurrir en sobredimensionamientos o limitaciones. En otras palabras, llevar a una escala adecuada una máquina de tipo industrial para que sea concebida como una herramienta didáctica sin que represente peligro alguno en su manipulación teniendo en cuenta la población para la que va dirigida la misma.

3.3. MATRIZ DE MARCO LAGICO

	NIVEL DE OBJETIVO	INDICADOR	MEDIO DE VERIFICACION	SUPUESTOS
FIN	Mejorar la calidad de la enseñanza y el aprendizaje de los procesos de transformación del plástico en la asignatura de materiales de ingeniería de la Udistrital	Incremento en la productividad estudiantil y de los docentes.	Notas buenas de los estudiantes Puntajes altos en proebas de conocimiento	Mas interes por parte de docentes y estudiantes en los programas ofertados por la universidad distrital.
PROPOSITO	Diseñar y fabricar una maquina de termoformado didáctica que apoye a los docentes en su catedra de plásticos de ingeniería	Mejoramiento en la oferta y la calidad de los programas de ingenieria de la unversidad	Planos P&ID, neumaticos, electricos y de diseño del equipo, asi como estudios economicos y/o de servicio	La maquina se fabrica y se entrega a la universidad para su correcto uso y disposicion
COMPONENTE	Cotizar insumos para la fabricacion del equipo y recibir capacitacion. Indagar con fabricantes existentes para conocer los diversos tipos de termoformadoras existentes	Costos , calidad y garantia de insumos y tiempos de entrega	Cotizaciones emitidas por los proveedores. Certificados de asistencia a capacitaciones	Precios bajos, disponibilidad inmediata y buena calidad de los materiales para construir la maquina
ACTIVIDAD	Diseño de una maquina de termoformado basica simulada en un software adecuado, para presentar a manera de prototipo.	Costo de diseño e ingenieria conceptual y tiempo empleado para realizar dicho trabajo	Informe escrito y sustentación del primer boceto o prototipo virtual de la termoformadora	El departamento de ingenieria de la universidad acepta el prototipo virtual

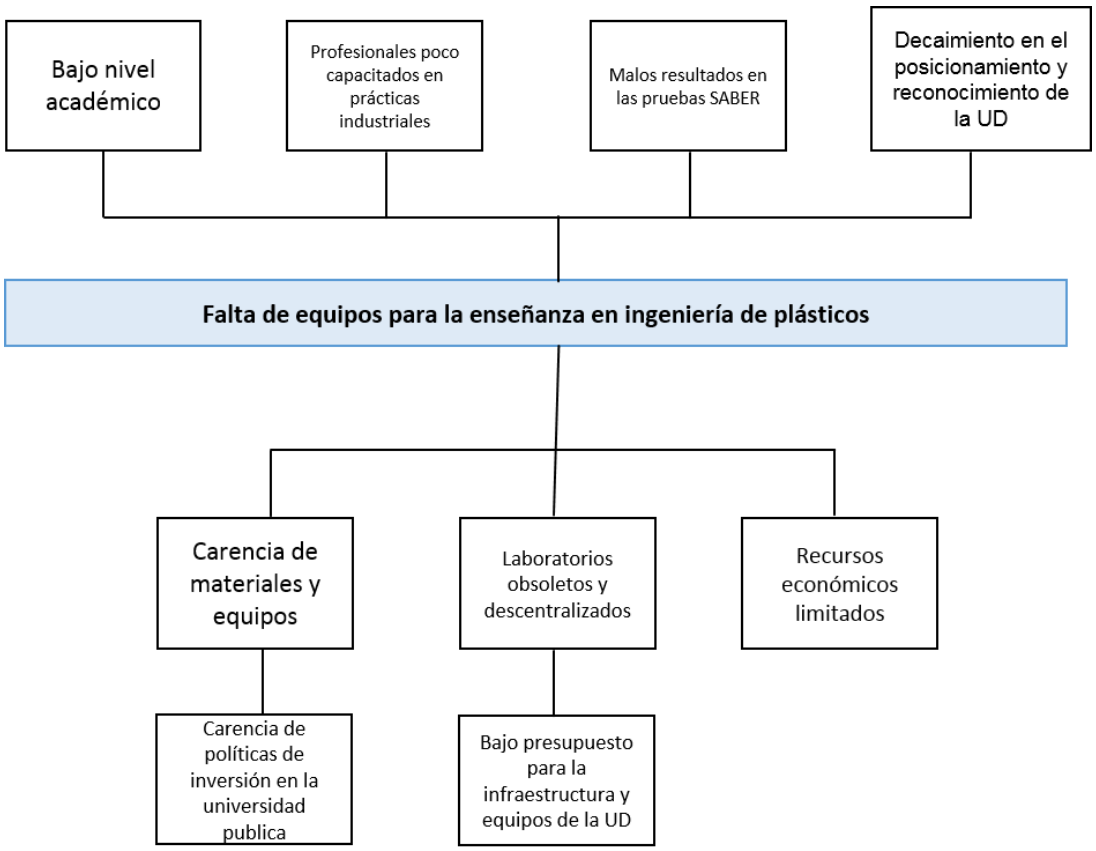
3.3.1. DIAGRAMA REALCION CAUSA EFECTO



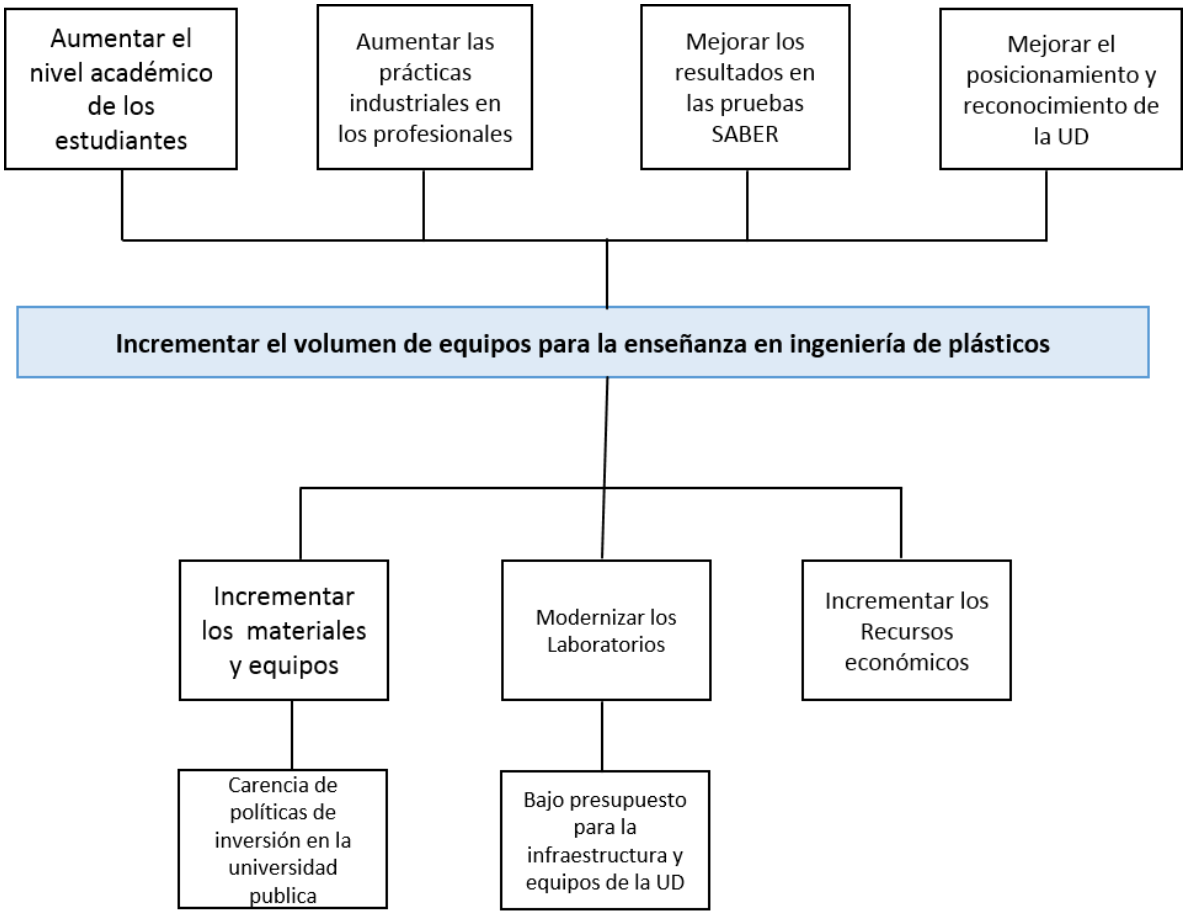
3.3.2. MATRIZ DE PARTICIPANTES

Beneficiarios Directos	Beneficiarios indirectos	Excluidos /neutrales	Perjudicados /oponentes
✓ Estudiantes de Ingeniería de la Universidad Distrital	✓ Docentes de la facultad de ingeniería ✓ Padres de Familia de los estudiantes de Ingeniería ✓ Empresas reclutadoras de talento	Personal administrativo, servicios generales, vigilancia, y en general la poblacion agena a la carreras de Ingeniria de la universidad	Vendedores de equipos para termoformado

3.3.3. ARBOL DE PROBLEMAS



3.3.4. ARBOL DE OBJETIVOS



3.3.5. ANALISIS DE ALTERNATIVAS

Criterios	*Coef*	*A1: Incrementar los materiales y equipos*	*Punt*	*A2: Modernizar los Laboratorios*	*Punt*	*A3: Incrementar los recursos al area*	*Punt*
Costo	8	8	64	6	48	6	48
Riesgo	3	1	3	1	3	3	9
Tiempo	4	2	8	7	28	8	32
Probabilidad de alcanzar el objetivo	7	9	63	5	35	4	28
Viabilidad institucional	5	8	40	2	10	3	15
TOTAL			***178***		***124***		***132***

4. MARCO DE REFERENCIA

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 postguerra 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 más 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]

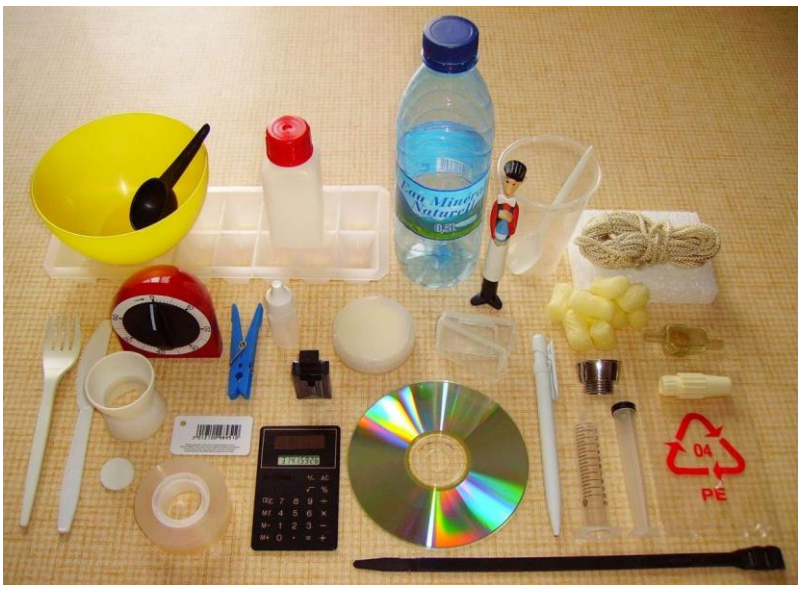
[1] PLASTIGLÁS DE MÉXICO S.A. DE C.V. Manual del termoformado., p. 4

5. MARCO TEÓRICO

5.1. LOS POLÍMEROS[2]

Los polímeros, que abarcan materiales tan diversos como los plásticos, el hule o caucho y los adhesivos, son moléculas orgánicas gigantes en cadena, con pesos moleculares desde 10.000 hasta más de 1.000.000 g/mol. La polimerización es el proceso mediante el cual las moléculas más pequeñas se unen para crear estas moléculas gigantes. Los polímeros se utilizan en un numero sorprendente de aplicaciones, incluyendo juguetes, electrodomésticos, elementos estructurales, y decorativos, recubrimientos, pinturas, adhesivos, llantas de automóvil, espumas, empaques, entre otros. Los polímeros comerciales o estándar son materiales ligeros resistentes a la corrosión, de baja resistencia y rigidez, y no son adecuados para uso a temperaturas altas. Sin embargo, son relativamente económicos y fácilmente conformables en una diversidad de formas, desde bolsas de plástico a engranes y tinas de baño. Los polímeros ingenieriles están diseñados para dar una mejor resistencia o mejor rendimiento a temperaturas elevadas. Estos últimos se producen en cantidades relativamente pequeñas y son costosos. Algunos de los polímeros ingenieriles pueden funcionar a temperaturas tan altas como 350ºC; otros, usualmente en forma de fibra, tienen resistencias superiores a las del acero.

Figura 1. Diversos elementos fabricados en plástico.



Fuente: http://todoproductividad.blogspot.com/2008/11/todo-sobre-el-plstico.html

[2] ASKELAND, Donald R. Ciencia e ingeniería de los materiales. 3 ed. México: international thomson editores, 1998., p. 6.

Los polímeros también tienen muchas propiedades útiles. Algunos, como el plexiglás y la lucita, son transparentes y pueden reemplazar a los vidrios cerámicos. Aunque la mayor parte de los polímeros son aislantes eléctricos, los polímeros especiales (como acetales) y los compuestos basados en polímero, poseen una conductividad eléctrica útil, El teflón tiene un bajo coeficiente de fricción y sirve de recubrimiento para utensilios de cocina antiadherentes. Los polímeros también son resistentes a la corrosión y al ataque químico.

5.1.1. Reseña histórica de los polímeros [3]

Durante siglos, los plásticos naturales (asta natural, goma laca, gutapercha) combinaban las propiedades de ligereza, solidez, resistencia al agua, translucidez y capacidad de moldeo. Su potencial era evidente pero resultaba difícil reunir dichos materiales o se disponía de ellos únicamente en volúmenes o tamaños limitados. En todo el mundo, se trató de perfeccionar los plásticos naturales o buscar sustitutos.

Con la obtención de plásticos naturales modificados, se transformaba la materia prima natural, como por ejemplo las fibras de algodón o la goma de caucho, en formas nuevas y mejoradas. El celuloide supero al asta natural en muchas de sus características. Sin embargo, los materiales modificados seguían basándose en fuentes naturales para la obtención del ingrediente principal. Fue con el desarrollo de la baquelita cuando resulto posible crear en una fábrica un material capaz de competir con la naturaleza. La baquelita dejaba abierta la puerta para el desarrollo de multitud de polímeros sintéticos, muchos de ellos, adaptados para satisfacer requisitos específicos.

La investigación para el perfeccionamiento de materiales continúa hoy en día. Muchas fibras modernas son el resultado de pruebas para crear seda artificial. Los materiales compuestos se están imponiendo actualmente en aplicaciones antes reservadas a los metales. Las posibilidades de los nuevos sustitutos parecen infinitas.

Leo Baekeland previó el potencial sin límites de los plásticos fenólicos y utilizo el símbolo de infinito para representar sus usos. Dicho símbolo se aplica hoy al futuro sin fronteras que hacen realidad quienes dedican su esfuerzo a la búsqueda y el uso de nuevos polímeros.

---

[3] RICHARDSON, Terry L y LOKENSGARD Erik. Industria del plástico: plástico industrial. 1ed. España: Thomson editores Spain, 2007., p. 10.

5.1.2. Etimología.

La palabra plástico viene del término griego plastikos, que significa “capaz de ser moldeado”. Esta frase describe la propiedad principal de dicho material como lo es su capacidad de deformarse y prácticamente adoptar cualquier forma deseada.

5.1.3. Propiedades de los polímeros[4]

Cuando miramos a nuestro alrededor, nos encontramos con que gran parte de los artículos que usamos, o que se encuentran en un espacio determinado son fabricados en plástico. Esto se debe a las propiedades especiales de los polímeros que los convierten en un material versátil con una cantidad casi ilimitada de aplicaciones y por ende han logrado incursionar de una forma asombrosa en cualquier tipo de industria y de mercados.

Dichas propiedades dependen en gran proporción a su grado determinado de polimerización.

5.1.3.1. Propiedades físicas

Curiosamente, las propiedades físicas de las moléculas de los polímeros, son diferentes a las de los monómeros que las conforman. Al ser grandes cadenas su estructura generalmente es amorfa y sus propiedades van a estar influenciadas por la presencia de fuerzas intermoleculares, estructura interna, etc. Podemos encontrar polímeros con destacable plasticidad, elasticidad, flexibilidad, transparencia, impermeabilidad y resistencia mecánica. Otros por su parte tienen una dureza y aspecto que los hace muy aptos para aplicaciones en la construcción (PVC y Baquelita, por ejemplo).

5.1.3.2. Propiedades eléctricas

Las propiedades eléctricas se manifiestan por la unión covalente, que es el tipo de unión que los forma. Los polímeros no son conductores eléctricos, no tienen polaridad, y no hay iones ni electrones libres como en los metales. Sin embargo, tienen un grado de sensibilidad eléctrica; los núcleos, por un efecto magnético, atraen cargas cercanas y las acumulan.

---

[4] POLÍMEROS. [en línea]. Actualizada: 04 Marzo de 2010. [Fecha de consulta: 17 Octubre de 2017]. Disponible en: http://cienciamateriales.argentina-foro.com/t56-91-propiedades-electricas-de-los-polimeros-origen

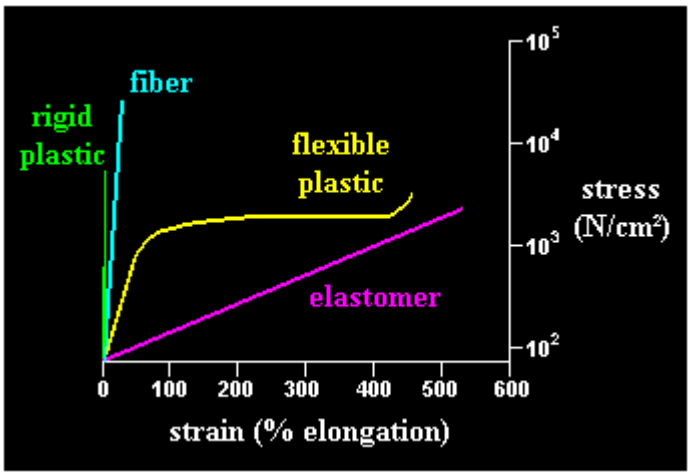
Son buenos aislantes eléctricos, pero sin embargo tienen un límite. La cantidad de calor que se está disipando no debe ser mayor al límite de rotura del polímero, para evitar que se rompan las cadenas y se separen los monómeros.

La frecuencia de la corriente alterna genera movimientos en los átomos del polímero haciendo que haya fricción y por ende un aumento de temperatura.

5.1.3.3. Propiedades mecánicas[5]

Para describir mejor las propiedades mecánicas de los polímeros, es necesario usar un gráfico sencillo:

Figura 2. Gráfico esfuerzo-deformación



Fuente: After Odian, George; Principles of polymerization 3rd ed., J. Wiley, New York, 1991, 34p.

Los plásticos rígidos pueden soportar una gran tensión, pero no demasiada elongación antes de su ruptura. Decimos entonces que estos materiales son resistentes, pero no muy duros. Además, la pendiente de la recta es muy pronunciada, lo que significa que debe ejercerse una considerable fuerza para deformar un plástico rígido. De modo que resulta sencillo comprobar que los plásticos rígidos tienen módulos elevados. Los plásticos rígidos tienden a ser resistentes, soportan la deformación, pero no suelen ser duros, es decir, son quebradizos.

Los plásticos flexibles difieren de los plásticos rígidos en el sentido que no soportan tan bien la deformación, pero tampoco tienden a la ruptura. El módulo inicial es elevado, o sea que resisten por un tiempo la deformación, pero si se ejerce demasiada tensión sobre un plástico flexible, finalmente se deformará. Podemos decir que los

---

[5] PROPIEDADES DE LOS POLÍMEROS. [en línea]... [Fecha de consulta: 17 Octubre de 2017]. Disponible en: http://www.pslc.ws/spanish/mech.htm

plásticos flexibles pueden no ser tan resistentes como los rígidos, pero son mucho más duros.

Es posible alterar el comportamiento tensión-estiramiento de un plástico con aditivos denominados plastificantes. Un plastificante es una molécula pequeña que hace más flexible al plástico. Por ejemplo, sin plastificantes, el Policloruro de vinilo, o PVC, es un plástico rígido, que se usa tal cual para cañerías de agua. Pero con plastificantes, el PVC puede ser lo suficientemente flexible como para fabricar juguetes inflables.

Las fibras como el KEVLAR, la fibra de carbono y el nylon tienden a exhibir curvas tensión estiramiento. Al igual que los plásticos rígidos, son más resistentes que duras, y no se deforman demasiado bajo tensión. Pero cuando es resistencia lo que se requiere, las fibras tienen mucho que ofrecer. Son mucho más resistentes que los plásticos, aún los rígidos, y algunas fibras poliméricas como el KEVLAR, la fibra de carbono y el polietileno de peso molecular ultra-alto poseen mejor resistencia tensil que el acero.

Los elastómeros muestran un comportamiento mecánico completamente diferente al de los otros tipos de materiales. Los elastómeros tienen módulos muy bajos.

Pero para que un polímero sea un elastómero, le hace falta algo más que tener módulo bajo. El hecho de ser fácilmente estirado no le da demasiada utilidad, a menos que el material pueda volver a su tamaño y forma original una vez que el estiramiento ha terminado. No poseen sólo una elevada elongación, sino una alta elongación reversible.

5.1.3.4. Propiedades químicas[6]

Las propiedades químicas se manifiestan a través de la afinidad que tengan los elementos constitutivos del polímero con el medio al cual están expuestos.

Todos los átomos de los polímeros están combinados, sin embargo existe el riesgo de la disolución, la cual hace que los elementos se separen del polímero, y debido a esto no deben ser expuestos a solventes (acetona, alcohol, etc.).

La exposición a la radiación solar puede hacer que el material se averíe, pierda pigmento, se fracture y se rompa según la cantidad de calor.

Por otra parte no son afectados por el fenómeno de corrosión ya que los elementos ya están oxidados naturalmente ni reaccionan con ácidos.

---

[6] PROPIEDADES DE LOS POLÍMEROS. [en línea]. Actualizada: 04 Marzo de 2010. [Fecha de consulta: 17 Octubre de 2017]. Disponible en: http://cienciamateriales.argentina-foro.com/t55-92-propiedades-quimicas-de-los-polimeros-origen

5.1.3.5. Propiedades térmicas[7]

AI 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 substancia 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.

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 substancia, la escala en grados centígrados (ºC), Farenheit (ºF) y Kelvin (ºK), siendo las primeras dos, las más utilizadas.

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 ºC a 15.5 ºC) es definida como 1 caloría (cal.). Cuando 1 caloría es suministrada a 1 kg. de agua, la temperatura del agua se incrementará 1 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 1 cal. es suministrada a 1 kg. de aluminio, la temperatura del metal se incrementará unos 5 grados. De hecho cada substancia responderá en diferente grado cuando se somete a calor. La cantidad de calor requerido para elevar 1 kg. De una substancia en un grado es denominado calor específico de esa substancia. 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.

La conductividad térmica es una de las tres formas por la cual 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 substancia es calentada se expande, el calor

---

[7] PLASTIGLÁS DE MÉXICO S.A. Op. Cit.., p. 10.

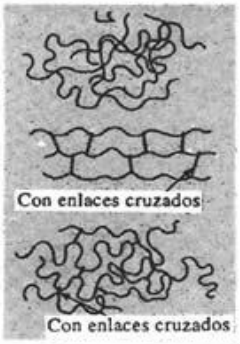
provoca que el volumen de una substancia se incremente y que su densidad disminuya.

La expansión térmica es el resultado de incrementar la temperatura de una substancia, 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. 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.

5.1.4. Clasificación de los polímeros[8]

Los polímeros se clasifican de varias formas: primero, según la forma en que las moléculas son sintetizadas; segundo, en función de su estructura molecular y tercero, por su familia química. Sin embargo, el método más usado para describir los polímeros, es en función de su comportamiento mecánico y térmico. La tabla 1, compara las tres clases de polímeros.

Tabla 1. Comparación de las tres clases de polímeros.

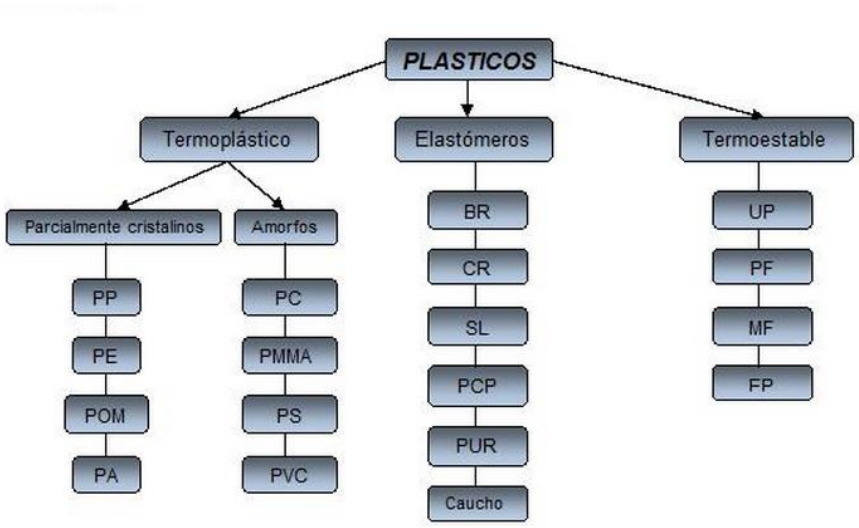
Comportamiento	Estructura general	Diagrama
Termoplástico	Cadenas lineales flexibles	
Termoestable	Red rígida tridimensional	
Elastómero	Cadenas lineales con enlaces cruzados	

Fuente: Askeland, Donald R. Ciencia e ingeniería de los materiales. 3 ed.International Thomson Editores. 1998. 450p.

[8] ASKELAND. Op. Cit. p. 450.

En el siguiente gráfico, se observa la clasificación de los polímeros y sus siglas comerciales:

Figura 3. Clasificación de los polímeros.



Fuente: autores

5.1.4.1. Los termoplásticos

Los polímeros termoplásticos se componen de largas cadenas producidas al unir moléculas de pequeñas o monómeros y típicamente se comportan de una manera plástica y dúctil. Al ser calentados a temperaturas elevadas, estos polímeros se ablandan y se conforman por flujo viscoso. Los polímeros termoplásticos se pueden reciclar con facilidad.

Tabla 2. Termoplásticos cristalinos.

TERMOPLÁSTICO	CARACTERÍSTICAS
Polipropileno (PP)	Elevada rigidez
Polietileno (PE)	Alta tenacidad
Polioximetileno (POM)	Alta dureza
Poliamidas (PA)	Resistente a los rayos “X”

Fuente: autores

Tabla 3. Termoplásticos amorfos

TERMOPLÁSTICO	CARACTERÍSTICAS
Policarbonato (PC)	Resistencia química
Plexiglás (PMMA)	Propiedades ópticas
Poliestireno (PS)	Baja resistencia
Cloruro de polivinilo (PVC)	Aislante térmico

Fuente: autores

5.1.4.2. Los termoestables

Están compuestos por largas cadenas de moléculas con fuertes enlaces cruzados entre las cadenas para formar estructuras de redes tridimensionales. Estos polímeros generalmente son más resistentes, aunque más frágiles, que los termoplásticos. Los termoestables no tienen una temperatura de fusión fija y es difícil reprocesarlos una vez ocurrida la formación de enlaces cruzados.

Tabla 4. Plásticos termoformable

TERMOESTABLES	CARACTERÍSTICAS
Resinas poliéster (UP)	Anticorrosivo
Baquelita (PF)	Alta dureza
Melanina (MF)	Resistencia dieléctrica
Resinas epóxicas (EP)	Resistencia química

Fuente: autores

5.1.4.3. Los elastómeros

Los elastómeros, incluyendo el caucho, tienen una estructura intermedia, en la cual se permite que ocurra una ligera formación de enlaces cruzados entre las cadenas. Los elastómeros tienen la capacidad de deformarse elásticamente en grandes cantidades sin cambiar de forma permanente.

La polimerización de estos tres tipos de polímeros normalmente se inicia con la producción de largas cadenas, en las cuales los átomos se unen fuertemente con enlaces covalentes. El número y la resistencia de los enlaces cruzados le dan a cada tipo sus propiedades especiales. Sin embargo, se debe hacer notar que las diferencias entre estos tipos tres tipos a menudo son muy sutiles. Por ejemplo, existe toda una continuidad de variaciones entre la estructura simple del polietileno (un termoplástico) y la estructura más compleja de los epóxicos (un termoestable).

Tabla 5. Elastómeros comerciales

ELASTÓMEROS	CARACTERÍSTICAS
Caucho natural	Aislante eléctrico
Polibutadieno (BR)	Alto desgaste
Policloropreno (CR)	Resistente al calor
Neopreno (PCP)	Alta resistencia
Poliuretanos (PUR)	Resistente a la abrasión
Siliconas (SI)	Estabilidad térmica

Fuente: autores

5.1.5. Fabricación de artículos en polímero[9]

El aspecto, las cualidades y las bondades que tienen los artículos de plásticos que nos rodean son el producto de un proceso industrial complejo que puede variar según la aplicación. Entre dichos procesos de fabricación se encuentran:

- Inyección
- Extrusión
- Por soplado
- Colada
- Calandrado
- Expansión
- Termoformado

5.1.5.1. Inyección

El moldeo por inyección constituye uno de los principales procedimientos para convertir plásticos en productos útiles. La lista de objetos cotidianos que se obtienen por moldeo de inyección es infinita: Aparatos de tv y video, pantallas de ordenador, CD y equipos de lectores, gafas, cepillos de dientes, piezas de automóvil, calzado deportivo, bolígrafos y muebles de oficina.

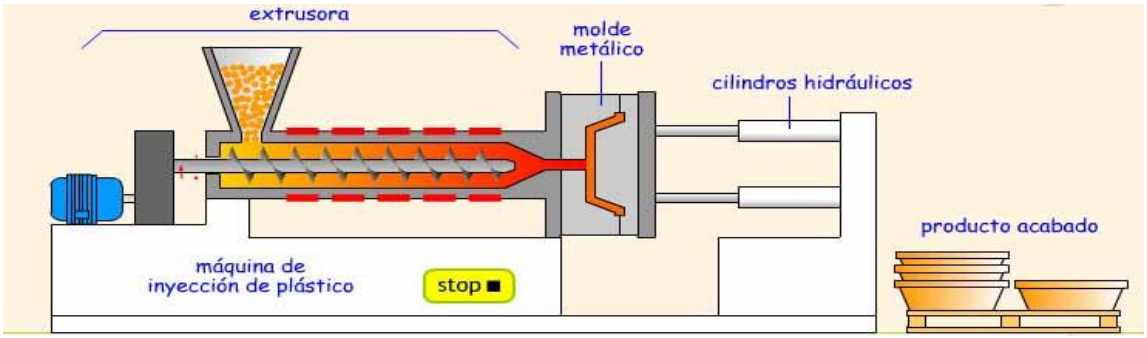
El moldeo por inyección es apropiado para todos los termoplásticos con excepción de los fluoroplásticos de politetrafluoroetileno (PTFE), las poliamidas, algunos poliésteres aromáticos y ciertos tipos especiales. Las máquinas de moldeo por inyección, para termoestables sirven para tratar fenólicos, melanina, epoxi, silicona, poliéster y numerosos elastómeros. En todos los casos, los materiales peletizados o granulados absorben el suficiente calor para facilitar su “fluidez”, lo que permite la inyección del plástico caliente en un molde cerrado, en el que se crea la forma deseada. Cuando se

9 RICHARDSON. Op. Cit. p. 172.

enfría, o una vez que ha tenido lugar una transformación química, se extraen las piezas del molde con un sistema de expulsión.

Una máquina de moldeo por inyección tiene 2 secciones principales: Unidad de inyección y unidad de cierre o prensa.

Figura 4. Inyección de plástico



Fuente: http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//1000/1094/html/1_polmeros.html

El moldeo por inyección está muy extendido, ya que permite insertos de metal, altos índices de productividad y control del acabado superficial con la textura deseada y una buena precisión en las dimensiones. Para la mayoría de los termoplásticos se pueden triturar y volver a utilizar el material sobrante.

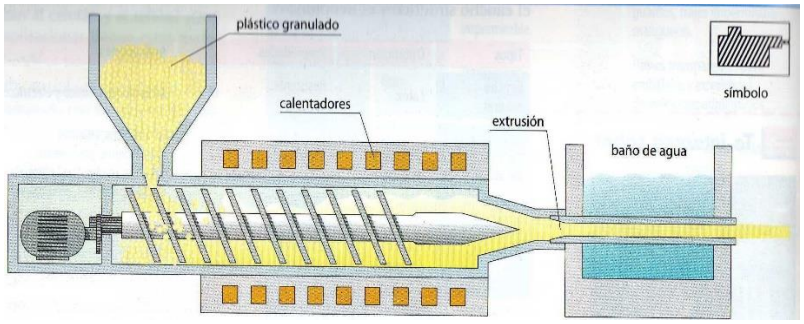
Por otra parte, este proceso no resulta práctico para series de producción cortas. Las máquinas de moldeo son caras y el costo de una hora de funcionamiento es bastante alto.

5.1.5.2. Extrusión[10]

En primer lugar, la operación o procedimiento de extrusión es la acción de forzar por medio de presión, a pasar a través de un “dado” o “boquilla” un plástico o material fundido. El procedimiento se ha utilizado durante muchos años para metales, como el aluminio que fluye plásticamente cuando se someten a una presión de deformación. En el procedimiento original para someter los polímeros a extrusión, se utilizaron maquinas similares impulsadas por un ariete o empujador mecánico. En el proceso moderno se usan tornillos para hacer fluir el polímero en el estado fundido o gomoso a lo largo de la camisa de la máquina. El tipo de máquina que se utiliza más es la de tornillo simple.

[10] MORTON, Jones. Procesamiento de plástico. 1 ed. México: Editorial Limusa, 1993., p. 95

Figura 5. Extrusión de plástico



Fuente: http://sjplasticos.wordpress.com/page/2/)

También se utilizan los extrusores de tornillos gemelos cuando se necesita una mezcla o transporte mejores. El aparato está constituido principalmente por un tornillo de Arquímedes que se ajusta con precisión dentro de la camisa cilíndrica, apenas con el espacio suficiente para rotar. El polímero solido se alimenta en un extremo y en el otro sale el material sometido a extrusión ya perfilado. Dentro de la maquina el polímero se funde y se homogeniza.

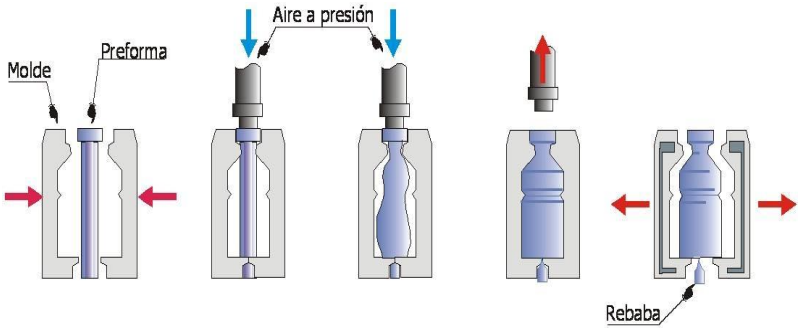
5.1.5.3. Por soplado[11]

El moldeo por soplado es la técnica que se usa para producir botellas y otros contenedores que son fundamentalmente formas huecas simples. Hay 2 subdivisiones principales, el moldeo por extrusión-soplado y el moldeo por inyección – soplado. El moldeo por extrusión – soplado fue inicialmente la técnica más importante, pero en años recientes el moldeo por inyección – soplado adquirió importancia para la producción de botellas de bebidas carbonatadas, especialmente, utilizando polietilentereftalato.

Los sopladores de vidrio usaron durante siglos el fundamento del moldeo por soplado. Se forma un tubo semifundido; este se atenaza entre las dos mitades de un molde i se inyecta aire para llenar el molde. Se enfrían las superficies del molde de modo que el producto solidifique rápido mientras esta aún bajo la presión del aire y se obtenga la forma del molde. Luego se recupera el producto abriendo el molde.

[11] MORTON. Op. Cit., p. 95

Figura 6. Soplado de plástico



Fuente: http://constructor.educarex.es/odes/otros/agora2007/PLASTICOSWEB/MOLDEOPORSOPLADO.html

En el moldeo por extrusión – soplado, el tubo semifundido llamado forma intermedia se produce directamente a partir del extrusor, del cual sale caliente y blando. En el moldeo por inyección – soplado el tubo, en este caso conocido más usualmente como la preforma, se elabora mediante el moldeo por inyección y se vuelve a calentar hasta la temperatura de soplado.

5.1.5.4. Colada

La colada consiste en verter un material de plástico en un molde para que se endurezca. En contraste con el moldeo y la extrusión, la colada no requiere presión para introducir el polímero en la cavidad del molde, sino que el rellenado depende de la presión atmosférica.

Para rellenar el molde usando la presión atmosférica, el polímero debe acercarse a un estado líquido. Hay muchos plásticos que sencillamente no llegan a ser suficientemente líquidos para fluir hasta el molde, incluso a temperaturas elevadas.

Figura 7. Colada de plástico



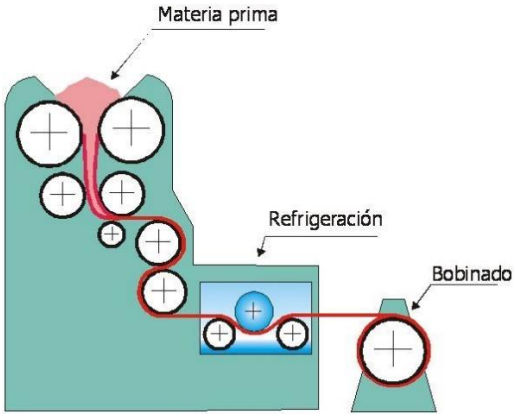
Fuente: http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/21311-Aimme-incorpora-nuevas-tecnologias-de-'Rapid-Manufacturing'.html

Muchos polímeros calientes tienen una viscosidad a la del pan; así pues, muchos plásticos como el acetal, PC y PP, entre otros, no son adecuados para la colada. Típicamente, los monómeros son más líquidos que los polímeros y tienen viscosidades similares a las de la miel, por lo que se utilizan bastante como materiales de colada. Dentro de los tipos de colada se encuentran la colada simple, colada de películas, colada de plástico fundido, colada por embarrado y colada estática, colada por rotación y colada por inmersión. Algunas de las ventajas de este proceso, además de su facilidad de ejecución, son el bajo costo de los equipos, herramientas, moldes, y material. Las desventajas son que el índice de producción es bajo y el tiempo de ciclo alto, las burbujas de humedad y aire pueden constituir un problema.

5.1.5.5. Calandrado[12]

El calandrado es un procedimiento que se aplica únicamente a los polímeros gomosos, incluyendo al cloruro de polivinilo plastificado, así como a los cauchos sintéticos y naturales. En el calandrado se requiere fundamentalmente que el polímero este en el estado gomoso. Mediante este procedimiento se obtiene la lámina del calibre preciso cuando se hace pasar el compuesto entre rodillos rotatorios. Por lo común se requiere más de una pasada para darle a la lámina la precisión que se necesita; entonces se usan máquinas de rodillos múltiples. La primera lamina se forma cuando el material pasa por la primera línea de contacto entre los rodillos, directamente desde la alimentación, la cual puede hacerse con un molino de 2 rodillos o extrusor. En la segunda línea de contacto entre rodillos se hace pasar, a menudo, la lámina sin comprimirla. En el tercer contacto se vuelve a hacer la lámina donde gira un banco “lápiz”. En buenas condiciones, el grosor de esta lámina se controla dentro de más o menos 0.02mm.

Figura 8. Calandrado de plástico



Fuente: http://constructor.educarex.es/odes/otros/agora2007/PLASTICOSWEB/CALANDRADO.html

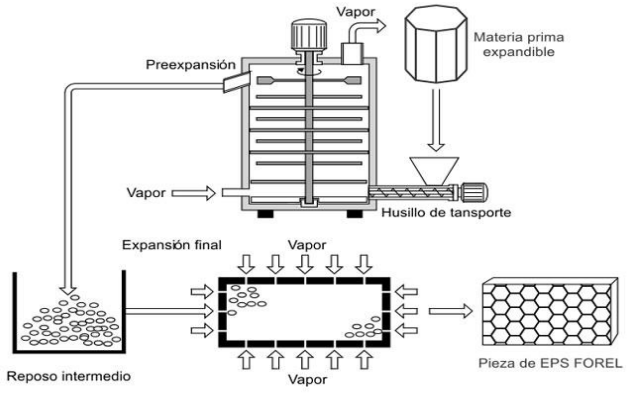
[12] MORTON. Op. Cit., p. 95

Las calandras se usan para producir láminas. Para artículos de caucho, estas se ensamblan de diversas maneras para muchos productos, por ejemplo, neumáticos, bandas. Las láminas de cloruro de polivinilo encuentran más a menudo usos directos, por ejemplo en cortinas de baño, impermeables y otras vestimentas y lienzos; en calibres más gruesos, como cubiertas de pisos.

5.1.5.6. Expansión

El plástico expandido tiene un aspecto semejante a una esponja, un pan, o una crema batida con quienes comparte una estructura celular. Estos plásticos se denominan a veces “ahuecados”, celulares, soplados, espumas o burbujas, y se pueden clasificar según sus características de estructura celular, densidad tipo de plástico o grado de flexibilidad, desde rígida y semirrígida a flexible. Estos materiales celulares de baja densidad se dividen en materiales de célula abierta y de célula cerrada. Los primeros se componen de células discretas y separadas, mientras que en los segundos las células están interconectadas por sus aberturas (de tipo esponja), por lo que se trata de polímeros de célula abierta. Estos polímeros expandidos pueden tener densidades comprendidas entre las de la matriz sólida y menos de 9 Kg/m^3. Prácticamente todos los termoplásticos y termoendurecibles se pueden expandir, y convertirse en retardadores de llama. Las resinas se transforman en plásticos expandidos básicamente a través de 6 métodos: Descomposición térmica de un agente de soplado químico que libera un gas en la partícula de plástico; disolución en la resina de un gas que se expande a temperatura ambiente; mezclado de un componente liquido o solido que se evapora al calentarse en el plástico fundido; Inyectado de aire en la resina y curado o enfriado rápidos de la resina; adición de componentes que liberan el gas que hay dentro de la resina por reacción química; Volatilización de la humedad.

Figura 9. Expansión de plásticos



Fuente: http://www.forel.es/eps_que-es.php

Algunas ventajas al ejecutar este proceso son la obtención de productos ligeros con baja conductividad térmica, con la posibilidad de múltiples aplicaciones industriales con una baja inversión.

Sin embargo, su proceso es lento, a veces requiere un ciclo de curado y necesita un equipo especial para métodos en los que se funde el plástico.

5.1.5.7. Termoformado[13]

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:

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

5.1.5.7.1. Tipos de termoformado

A continuación se describen los diferentes procesos de termoconformado existentes en la actualidad:

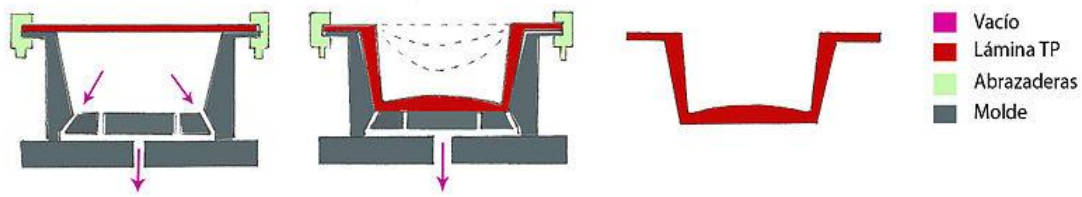
---

[13] RICHARDSON. Op. Cit. p. 175.

- Termoformado al vacío directo.

El conformado al vacío es enormemente versátil y se encuentra entre los más extendidos. El equipo de vacío cuesta menos que un equipo de tratamiento a presión o mecánico.

Figura 10. Termoformado al vacío directo



Fuente: http://www.marbeasrl.com.ar/procesos.php)

En el conformado al vacío directo se sujeta una lámina de plástico en una estructura y se calienta. Cuando la lámina caliente ha pasado a estado gomoso, se coloca sobre una cavidad de molde dejando un hueco. Se elimina el aire de esta cavidad haciendo el vacío y la presión del aire (10kpa) empuja la lámina caliente contra las paredes y contornos del molde. Cuando se enfría el plástico se extrae la pieza que se puede rematar y decorar si es necesario. Un inconveniente del termoconformado es que frecuentemente hay que desbarbar las piezas y se deben procesar los desperdicios.

- Conformado don macho

El conformado con macho (denominado incorrectamente conformado mecánico), es similar al conformado al vacío directo, con la salvedad de que en el primero, después de colocar el plástico en la estructura y calentarlo, se estira mecánicamente sobre un molde macho.

Figura 11. Conformado por macho



Fuente: RICHARDSON, Terry L y LOKENSGARD, Erick. Industria del plástico

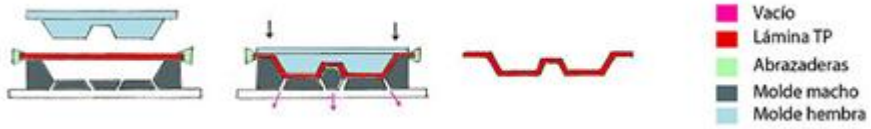
Se aplica entonces vacío (en realidad, un diferencial de presión), que empuja el plástico caliente contra todas las partes del molde. La lámina que toca el molde mantiene más o menos su espesor original. Se pueden conformar con macho objetos

que tienen una relación profundidad a diámetro cercana a 4:1, siendo posibles también relaciones de conicidad superiores, si bien la técnica resulta más compleja. Los moldes macho se pueden obtener fácilmente y, por regla general, su coste es menor que el de los moldes hembra, aunque también son más propensos al deterioro.

- Conformado de molde coincidente

El conformado de molde coincidente es similar al moldeo por compresión. En esta técnica se atrapa una lámina calentada y se conforma entre troqueles macho y hembra que pueden estar hechos de madera, yeso, epoxi y otros materiales. Se pueden producir rápidamente piezas exactas con tolerancias mínimas en moldes caros enfriados con agua. Este tipo de moldes permite conseguir una gran precisión en las dimensiones y los detalles. Existen marcas en ambos lados del producto acabado, por lo que se deben proteger los troqueles contra los arañazos y otro tipo de daños para que no se reproduzcan los defectos en los materiales termoplásticos.

Figura 12. Conformado de molde coincidente



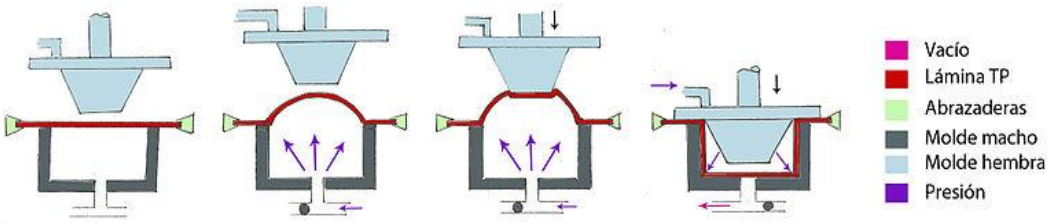
Fuente: http://www.marbeasrl.com.ar/procesos.php

No se deberá utilizar un molde de superficie lisa con las poliolefinas, ya que podría quedar atrapado el aire entre el plástico caliente y un molde muy pulido. Para estos materiales se suele utilizar superficies de moldes lijadas.

- Conformado al vacío con núcleo de ayuda y burbuja de presión

Para termoconformar formas muy hondas resulta de gran utilidad el conformado al vacío con núcleo de ayuda y burbuja de presión, siendo posible controlar el grosor del objeto formado, que puede ser uniforme o variado.

Figura 13. Conformado al vacío con núcleo de ayuda y burbuja de presión



Fuente: http://www.marbeasrl.com.ar/procesos.php

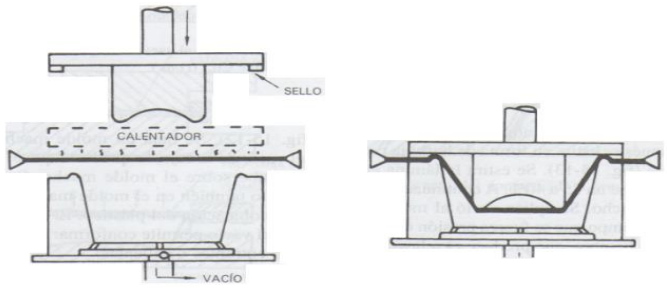
Una vez colocada la lámina en el armazón y después de calentarla, la presión controlada del aire crea una burbuja, que estira el material hasta una altura

determinada previamente, controlada normalmente por células fotoeléctricas. A continuación se baja el núcleo de ayuda macho hasta la cavidad. Normalmente se calienta la clavija macho para evitar el enfriado prematuro del plástico. La clavija deberá ser lo más grande posible para que el plástico se estire lo más cerca posible de su forma definitiva. La penetración de la clavija deberá avanzar desde un 70% a un 80% de la profundidad de la cavidad del molde. Después se aplica presión de aire desde el lado de la clavija al mismo tiempo que se forma vacío sobre la cavidad para favorecer el conformado de la lámina caliente.

- Conformado al vacío con ayuda de núcleo.

Para evitar el adelgazamiento de las aristas y esquinas de artículos con forma de vaso o de caja, se utiliza un núcleo para extender y estirar mecánicamente más material plástico hacia la cavidad del molde.

Figura 14. Conformado al vacío con ayuda de núcleo



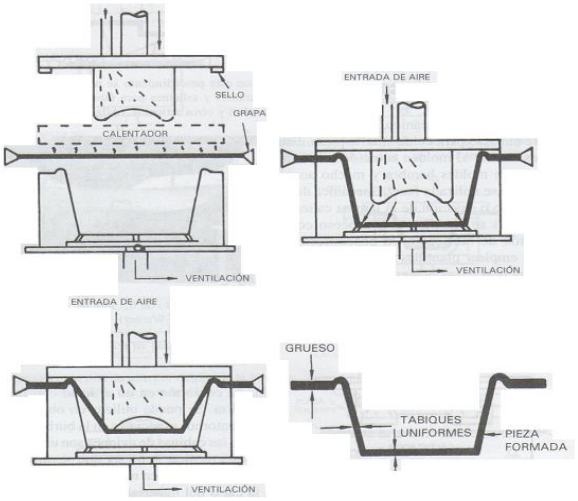
Fuente: RICHARDSON, Terry L y LOKENSGARD, Erick. Industria del plástico

Generalmente se calienta esta clavija inmediatamente por debajo de la temperatura de conformado de la lámina. La clavija deberá tener del 10-20% menos de longitud y anchura que el molde hembra. Una vez que la clavija ha empujado la lámina caliente, hacia la cavidad, se extrae el aire del molde completando así la formación de la pieza. El diseño o forma de la clavija determina el grosor de pared. El conformado a presión y vacío con ayuda de núcleo permite un estirado profundo y ciclos de enfriados más cortos así como un mejor control de grosor de las paredes; sin embargo, se necesita controlar mejor la temperatura y un equipo más complejo que el del conformado al vacío directo.

- Conformado a presión con ayuda de núcleo

El conformado a presión con ayuda de núcleo es similar al conformado al vacío con ayuda de núcleo, ya que la clavija introduce el plástico caliente en la cavidad hembra, pero se aplica presión de aire para que fuerce la lámina de plástico hasta las paredes del molde.

Figura 15. Conformado a presión con ayuda de núcleo

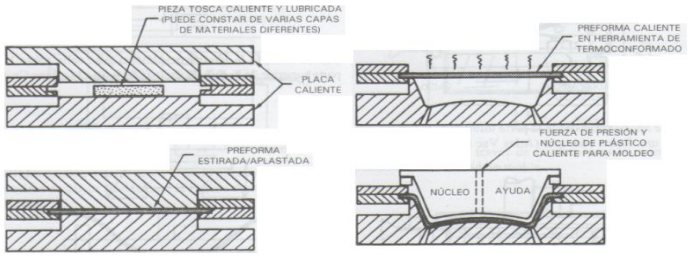


Fuente: RICHARDSON, Terry L y LOKENSGARD, Erick. Industria del plástico

- Conformado a presión en fase sólida.

Este es similar al conformado con ayuda de núcleo. Esta técnica parte de una pieza plana solida (polvos sinterizados, moldeados por compresión, extruidos), que se calienta inmediatamente por debajo de su punto de fusión. Se utilizan láminas de polipropileno y otras láminas de PP de varias capas. A continuación, presiona la pieza plana hacia la forma de la lámina y se transfiere a la prensa del termoconformado.

Figura 16. Conformado a presión en fase sólida



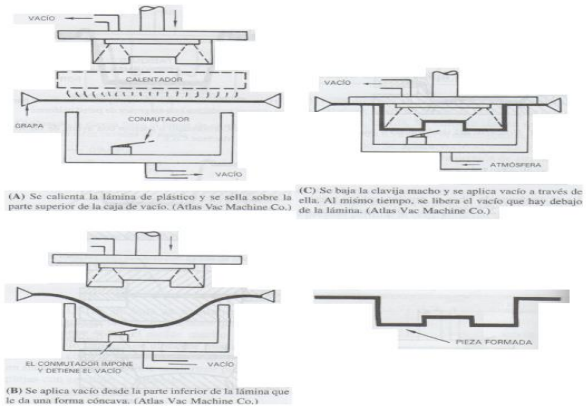
Fuente: RICHARDSON, Terry L y LOKENSGARD, Erick. Industria del plástico

Después, una clavija estira el material caliente y la presión de aire caliente fuerza este material contra los lados del molde. Las dos operaciones de estirado (biaxial), provocan orientación molecular, mejorando así la firmeza, tenacidad y la resistencia al agrietamiento por esfuerzo en condiciones ambientales del producto.

- Conformado en relieve profundo al vacío.

En este se coloca la lámina de plástico caliente sobre una caja y se forma vacío que empuja una burbuja hacia la caja, se baja un molde macho y se libera el vacío de la caja lo que hace que el plástico se abombe sobre el molde macho.

Figura 17. Conformado en relieve profundo al vacío



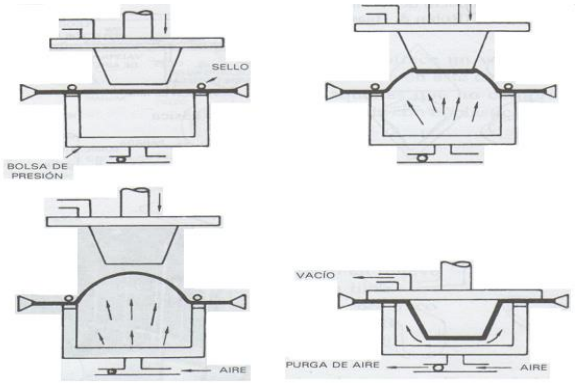
Fuente: RICHARDSON, Terry L y LOKENSGARD, Erick. Industria del plástico

Se puede aplicar vacío también en el molde macho para favorecer la colocación del plástico. El conformado en relieve al vacío permite conformar piezas complejas con entrantes y salientes.

- Conformado en relieve al vacío con burbuja a presión.

Tal como implica su nombre, se calienta la lámina y después se estira en forma de burbuja por presión de aire. Se estira la lámina en aprox. Un 35-40%. A continuación se baja el molde macho. Se aplica vacío al molde macho al mismo tiempo que se fuerza presión de aire hasta la cavidad hembra, que produce el relieve de la lámina caliente alrededor del molde macho. En el lado del molde macho queda una marca.

Figura 18. Conformado en relieve al vacío con burbuja a presión



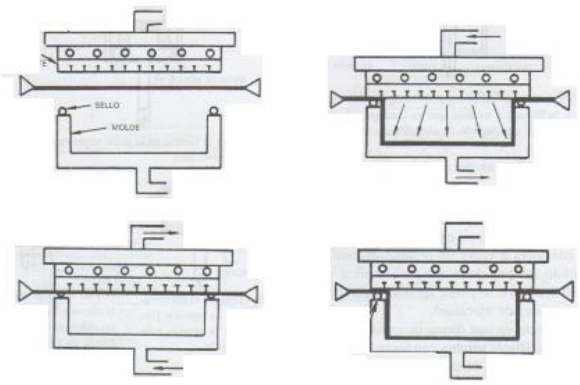
Fuente: RICHARDSON, Terry L y LOKENSGARD, Erick. Industria del plástico

Este proceso permite la configuración de piezas complejas muy hondas, si bien el equipo es complejo y costos.

- Conformado por presión térmica de contacto de lámina atrapada.

Este proceso es parecido al conformado al vacío directo con la excepción de que se puede usar la presión y el vacío para forzar el plástico hasta el molde hembra.

Figura 19. Conformado por presión térmica de contacto de lámina atrapada

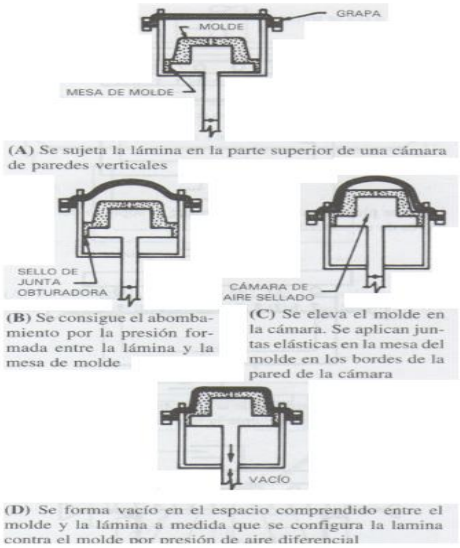


Fuente: RICHARDSON, Terry L y LOKENSGARD, Erick. Industria del plástico

- Conformado con colchón de aire.

El conformado con colchón de aire es similar al conformado en relieve, con la diferencia de la creación de una burbuja estirada.

Figura 20. Conformado con colchón de aire

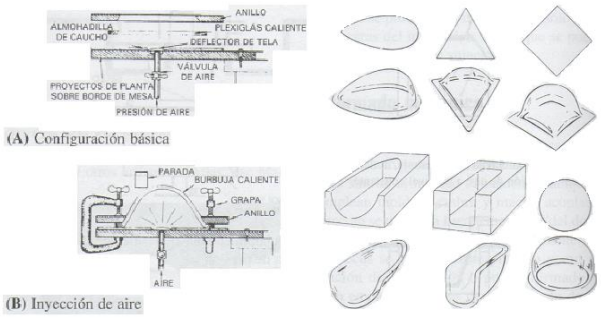


Fuente: RICHARDSON, Terry L y LOKENSGARD, Erick. Industria del plástico

- Conformado libre.

En el conformado libre se pueden aplicar presiones de más de 2.7MPa para soplar una lámina de plástico caliente sobre la silueta de un molde hembra. La presión de aire hace que la lámina se conforme en un artículo con forma de burbuja lisa. Se puede utilizar un obturador para formar contornos especiales en la burbuja.

Figura 21. Conformado libre



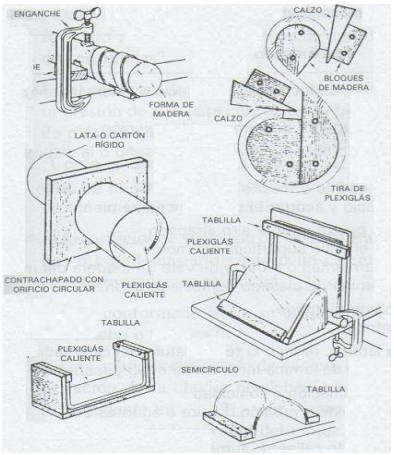
Fuente: RICHARDSON, Terry L y LOKENSGARD, Erick. Industria del plástico

Las claraboyas o las cabinas de aviones son un buen ejemplo. A no ser que se utilice un obturador no se producen marcas, ya que solo el aire toca las caras del material, a no ser que se puedan producir marcas por la sujeción.

- Conformado mecánico.

En el conformado mecánico, no se utiliza presión de aire ni vacío para conformar la pieza. Esta técnica es similar al moldeo coincidente, aunque no se emplean moldes hembra y macho acoplados. Solamente se utiliza la fuerza mecánica del doblado, estirado o sujeción de la lámina caliente.

Figura 22. Conformado mecánico



Fuente: RICHARDSON, Terry L y LOKENSGARD, Erick. Industria del plástico

A veces se clasifica este proceso como una operación de fabricación o pos conformado. Se pueden emplear plantillas de conformado de madera sencillas para obtener la forma deseada utilizando hornos calentadores de cinta y pistolas térmicas como fuentes de calor. Se puede calentar un material plano y enrollar alrededor de cilindros o, también, en una tira estrecha y doblar en ángulos rectos. Es posible conformar mecánicamente tubos varillas y otros perfiles.

El conformado de anillo y núcleo se considera a veces un proceso de conformado distinto aunque, dado que no se aplica vacío ni presión de aire, se puede agrupar junto con el tipo de conformado mecánico. Cosiste en una forma de molde macho y un molde de silueta hembra con forma similar (no un molde acoplado). Se introduce el plástico caliente a través del anillo (no necesariamente una forma tosca) del molde hembra mediante el macho. Al enfriarse el plástico adopta la forma del molde macho con el que está en contacto.

5.1.5.7.2. Moldes para termoformado[14]

Conceptos como la apariencia, forma y dimensiones de la pieza, así como el volumen de fabricación son parámetros fundamentales para la construcción de un molde para termoformado. Los materiales más usados en moldes son la madera, minerales, resinas plásticas y metales. En la siguiente tabla se describe detalladamente cada uno de ellos:

Tabla 6. Materiales para moldes

GRUPO	MATERIAL USADO	TIPO DE PRODUCCIÓN	VENTAJAS Y DESVENTAJAS
Madera	Pino, caoba, cedro, maple, triplay, aglomerado	Baja	Se caracterizan por ser de bajo costo, tiempo de construcción corto y buen acabado superficial. Los moldes deberán sellarse con caseína, barniz fenólico o resina epóxica. La duración del molde puede prolongarse considerablemente reforzando las aristas con metal.
Minerales	Yeso, fluosilicato de sodio	Baja mediana	Tienen más duración que los de madera, alta resistencia y reforzados en su interior con malla de metal, fibra de vidrio u otros materiales. El yeso se vacía sobre el modelo y debe dejarse secar por un tiempo de 5 a 7 días a temperatura ambiente. Los recubrimientos de resina poliéster, epóxica o fenólica proporcionan una superficie más resistente. Deben tenerse extremas precauciones para no astillar el yeso al hacer las perforaciones de vacío.

Fuente: BERNHARDT, Ernest C. Técnicas de transformación de los materiales termoplásticos

[14] PLASTIGLÁS DE MÉXICO. Op. Cit., p.43-45.

Tabla 6. Materiales para moldes. (Continuación)

Resinas plásticas	Resina poliéster, Resina epóxica, Resina fenólica, Laminados plásticos, Nylon	Mediana	Los moldes de resinas plásticas son más costosos y elaborados que los de yeso o madera, pero ofrecen una mayor duración, superficies más tersas y mejor estabilidad dimensional. A las resinas poliéster, epóxicas o fenólicas se pueden cargar con polvo de aluminio, que proporciona una temperatura más homogénea del molde o, con caolín, fibra de vidrio y otras cargas.
Metálicos	Aluminio, Cobre-berilio, acero	Alta	Ideales para grandes corridas de producción, altas presiones o formado mecánico. Son costosos, el tiempo de construcción es largo, tienen mejor acabado superficial, bajo costo de mantenimiento y mejor estabilidad dimensional. Requieren de enfriamiento, así como evitar enfriamientos rápidos en la pieza.

Fuente: BERNHARDT, Ernest C. Técnicas de transformación de los materiales termoplásticos

Algunos criterios y consideraciones para el diseño y aplicación de moldes se describen a continuación:

- Un molde macho es más fácil de usar, cuesta menos y es el más adecuado para formar piezas profundas. Un molde hembra no deberá emplearse para formar piezas que requieran una profundidad mayor de la mitad del ancho de la pieza. El molde hembra se usará cuando la pieza terminada requiera que la cara cóncava no tenga contacto con el molde.

- Los moldes deberán contar con suficientes orificios de vacío para que la lámina pueda conformarse a las partes críticas del molde, los orificios de vacío deberán hacerse en las partes más profundas y en las áreas en donde el aire pueda quedar atrapado, deben ser lo suficientemente pequeños para no causar marcas (de 1/32" a 1/8" de diámetro). Se puede lograr un vacío más efectivo si el orificio es agrandado por la parte interna.

- En moldes metálicos deberá proveerse de conductos que permitan la circulación de agua o aceite a través del molde cuando se requiera un control de temperatura en el mismo.

- Cuando las dimensiones de la pieza formada sean críticas, los moldes deberán construirse de dimensiones mayores para compensar la contracción del material. La contracción que debe esperarse de la temperatura de moldeo a la temperatura ambiente es de 1% máximo.
- Una pequeña curvatura del molde en las partes planas de las áreas grandes, permitirá obtener áreas planas al enfriar el material.

- No se podrán obtener piezas con paredes a 90°, el molde deberá tener un ángulo de salida de por lo menos 3°.

- Es recomendable redondear las aristas, ya que el formado en vértice acumula esfuerzos internos. La resistencia de la pieza será mayor diseñando orillas, esquinas y cantos redondeados.

- La superficie de los moldes puede ser forrada con franela de algodón, fieltro, terciopelo, gamuza u otros materiales para disminuir las marcas del molde. Lo más usual es utilizar franela de algodón.

5.1.5.7.3. Polímeros adecuados para el termoformado[15]

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., 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.

Tabla 7. Temperatura de trabajo de polímeros comunes

POLÍMEROS	TEMPERATURA DE DEFLECCIÓN AL CALOR			TEMPERATURA DE TERMOFORMADO		
	A 264 PSI (ºC)	A 66 PSI (ºC)	SIN CARGA (ºC)	TEMP. DE LA HOJA (ºC)	TEMP DEL MOLDE (ºC)	TEMP DE AYUDA (ºC)
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

Fuente: PLASTIGLÁS. Manual del termoformado

[15] RICHARDSON. Op. Cit., p 175

5.1.5.7.4. Métodos de calentamiento de láminas para termoformado[16]

Independientemente del método que se utilice para hacer que la lámina termoplástica alcance la temperatura óptima para ser moldeada, es necesario el estudio de los mecanismos de transferencia de calor existentes para el análisis del sistema de calentamiento, tales como la conducción, la convección y la radiación.

- Transferencia de calor por conducción.

Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia a las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas.[17]

La ecuación o modelo se conoce como la ley de Fourier. Para una pared plana unidimensional que presente una distribución de temperatura T(x), la ecuación o modelo se expresa como:[18]

$$q''_x = -k\,\frac{dT}{dx} \qquad \textbf{5. 1}$$

- Transferencia de calor por convección:

La transferencia de calor por convección se clasifica de acuerdo con la naturaleza del flujo: Convección forzada cuando el flujo es causado por medios externos, como un ventilador, una bomba o vientos atmosféricos. En cambio, en la convección libre (o natural) el flujo es inducido por fuerzas de empuje que surgen a partir de diferencias de densidad ocasionadas por variaciones de temperatura en el fluido.

Sin importar la naturaleza particular del proceso de transferencia de calor por convección, la ecuación o modelo apropiado es de la forma:

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \qquad \textbf{5. 2}$$

Donde q″, el flujo de calor por convección (W/m2), es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de la superficie y del fluido, Ts y T∞, respectivamente. Esta expresión se conoce como la ley de enfriamiento de Newton, y la constante de proporcionalidad h (W/m2·K) se denomina coeficiente de transferencia de calor por convección. Éste depende de las condiciones en la capa límite, en las que influyen la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido y una variedad de propiedades termodinámicas del fluido y de transporte.

---

[16] PLASTIGLÁS DE MÉXICO S.A. DE C.V. Op. Cit. Manual del termoformado., p 27
[17] CENGEL, Yunus. Transferencia de calor. 2 ed. Mexico. McGrawn-hill. 2004., p 17.
[18] INCROPERA, Frank. Fundamentos de transferencia de calor. 4 ed. Prentice hall hispanoamericana S.A., p 92

- Transferencia de calor por radiación.

La radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita. Aunque centraremos nuestra atención en la radiación de superficies sólidas, esta radiación también puede provenir de líquidos y gases. Sin importar la forma de la materia, la radiación se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivos. La energía del campo de radiación es transportada por ondas electromagnéticas (o alternativamente, fotones). Mientras la transferencia de energía por conducción o por convección requiere la presencia de un medio material, la radiación no lo precisa. De hecho, la transferencia de radiación ocurre de manera más eficiente en el vacío. La radiación que una superficie emite se origina a partir de la energía térmica de la materia limitada por la superficie, y la velocidad a la que libera energía por unidad de área (W/m2) se denomina la potencia emisiva superficial E. Hay un límite superior para la potencia emisiva, que es establecida por la ley de Stefan-Boltzmann.

$$E_b = \sigma T_s^4 \qquad \textbf{5. 3}$$

Donde Ts es la temperatura absoluta (K) de la superficie y σ es la constante de Stefan Boltzmann (σ = 5.67×10-8 W/m2·K4). Dicha superficie se llama radiador ideal o cuerpo negro.

Hay muchas aplicaciones para las que es conveniente expresar el intercambio neto de calor por radiación en la forma:

$$q_{rad} = h_r A(T_s - T_{air}) \qquad \textbf{5. 4}$$

Donde el coeficiente de transferencia de calor por radiación hr es:

$$h_r = \varepsilon\sigma(T_s - T_{air})(T_s^2 + T_{air}^2) \qquad \textbf{5. 5}$$

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 cm^3/min (150 a 200 $pies^3$/min), son cruciales para obtener una temperatura homogénea. La temperatura del horno debe ajustarse a la temperatura de formado del plástico.

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 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/pulg^2, 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.

- Horno de gas con circulación de aire forzado.

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 cm^3/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.

- 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.

Los hornos eléctricos pueden ser calentados, utilizando grupos de resistencias de 1000 watts. En el caso de usar un horno con capacidad de 10 m^3, 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.

Un aislamiento térmico es cualquier recubrimiento que contribuye a reducir las pérdidas de calor hacia o desde el medio ambiente.

Para fabricarlos puede utilizarse cualquier material de conductividad térmica baja. Se llaman aislantes a los materiales cuyo coeficiente a una temperatura de 50 a 100 C es menor que 0,2 W/ (m*C).

El coeficiente de conductividad térmica depende entre otras cosas, de su porosidad: si esta es mayor, el valor del coeficiente efectivo de conductividad térmica es menor. Si el objeto que se aísla posee altas temperaturas, por lo general se usa un aislamiento de múltiples capas: primero se coloca un material que soporte altas temperaturas y luego el material más eficaz desde el punto de vista de sus propiedades aislantes. El espesor de la primera capa se elige de forma tal que la temperatura en la zona de contacto con el segundo no supere los 80 C.

- Resistencias eléctricas de calentamiento lineal.

Las resistencias lineales son de alambre, encerradas en tubos de cerámica Pyrex. El material no deberá entrar en contacto con el tubo para evitar marcas en la superficie. Se recomienda una distancia prudente 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.

La selección de la resistencia eléctrica se realiza a partir de información obtenida de fabricantes de este tipo de elementos. Este componente está fabricado en un material denominado incoloy. La aleación contiene elementos como níquel, hierro y cromo, lo cual permite al material una alta resistencia a la oxidación y a la carburación en altas temperaturas.

5.1.5.7.5. Métodos de formado

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.

- Formado al vacío

El método más antiguo para formar una hoja de plástico en una pieza utilitaria, es el 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.

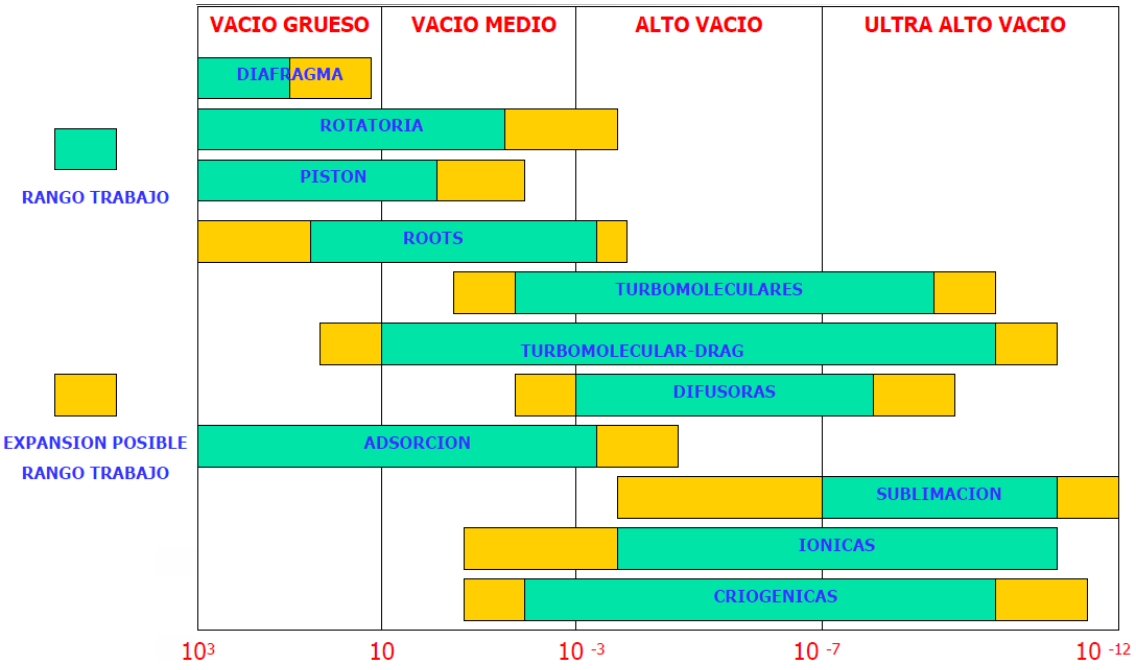
Tabla 8. Tipos de vacío

Rango de vacío	*Presión (mbar)*	*Densidad de moléculas/cm³*
Vacío grueso	1013 - 1	10^{19} - 10^{16}
Vacío medio	1 - 10^{-3}	10^{16} - 10^{13}
Alto vacío	10^{-3} - 10^{-7}	10^{13} - 10^{9}
Ultra alto vacío	< 10^{-7}	< 10^{9}

Fuente: TECNOVAC. Curso de vacío

Existe una gran variedad de bombas de vacío: de pistón reciprocante, 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 en algunos casos es necesario conectar un tanque de reserva que sirva como un "acumulador de vacío". En la siguiente figura, se evidencia el tipo de bomba más adecuada a utilizar de acuerdo al trabajo y a la presión que se desea alcanzar:

Tabla 9. Bombas según vacío requerido



Fuente: TECNOVAC. Curso de vacío

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.

Con excepción de algunos equipos de vacío, la mayor parte son suministrados con un tanque de almacenamiento. Tomando en cuenta que la presión de trabajo es de aproximadamente 10 Psi (alrededor de 0.698 bar) de vacío, entonces el volumen del tanque de almacenamiento deberá ser 2.5 veces mayor al volumen comprendido entre el molde, la caja de vacío y la tubería. Doblando el volumen del tanque de almacenamiento (y con otras condiciones similares) se podrá incrementar la presión en un 15% (11.5 Psi), conforme a lo establecido, el límite teórico para el proceso de formado al vacío es de sólo 14.7 Psi.

- Formado por aire a 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 Psi, la pérdida de presión en el sistema de vacío será de 10 Psi, el 50% de la presión, pero si el sistema de presión es de 100 Psi, entonces será del 5%. Es conveniente también instalar una válvula de reducción de presión y un manómetro, así como un bafle 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 soplados, 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.

5.1.5.7.6. Sistema neumático para el desplazamiento de la lámina

El sistema que permite el desplazamiento de la lámina del polímero en una máquina termo formadora, generalmente es neumático y por ende requiere de una fuente de aire comprimido para su funcionamiento. Los rangos de presión de dicha fuente de aire se manejan entre los 60 y los 100 psi (para instrumentación y herramientas), controlada por medio de un sistema de regulación en la entrada de cada dispositivo a alimentar.

- Actuadores neumáticos

Los actuadores neumáticos convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico generando un movimiento lineal mediante servomotores de diafragma o cilindros, o bien un movimiento giratorio con motores neumáticos.[19]

El cilindro neumático consiste en un cilindro cerrado con un pistón en su interior que desliza y que transmite su movimiento al exterior mediante un vástago. Se compone de las tapas trasera y delantera, de la camisa donde se mueve el pistón, del propio pistón, de las juntas estáticas y dinámicas del pistón del anillo rascador que limpia el vástago de suciedad.[20]

En el cilindro neumático de doble efecto, el aire a presión entra por el orificio de la cámara trasera y, al llenarla, hace avanzar el vástago, que en su carrera comprime el aire de la cámara delantera que se escapa al exterior a través del correspondiente orificio. En la carrera inversa del vástago se invierte el proceso, penetrando ahora el aire por la cámara delantera y siendo evacuado al exterior por el orificio de la cámara trasera.

- Cálculo de los cilindros neumáticos.

Las principales variables a considerar en la selección de los cilindros neumáticos son la fuerza del cilindro, la carga, el consumo de aire y la velocidad del pistón.

- Fuerza del cilindro.

La fuerza del cilindro es una función del diámetro del cilindro, de la presión del aire y del roce del émbolo, que depende de la velocidad del émbolo y que se toma en el momento de arranque. La fuerza que el aire ejerce sobre el pistón es:

$$F = P_{aire} * Area\ pistón \qquad \textbf{5. 6}$$

Los cilindros de doble efecto presentan dos fuerzas diferentes, una primera cuando el vástago del cilindro sale (fuerza de extensión), y la otra cuando el vástago entra de nuevo al cilindro (fuerza de retracción), las dos fuerzas están en función de las respectivas áreas sobre las cuales la presión actúa. Las expresiones matemáticas que representan estas fuerzas son:

$$F_{ext} = P_{aire} * \frac{\pi * D^2}{4} \; ; \; F_{ret} = P_{aire} * \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{4} \qquad \textbf{5. 7}$$

---

[19] CREUS S, Antonio. NEUMÁTICA E HIDRÁULICA. Fundamentos de transferencia de calor. 1 ed. Alfa-omega, marcombo, 2007.

[20] ACTUADORES NEUMÁTICOS. [en línea]. Actualizada:. [Fecha de consulta: 13 Noviembre de 2017]. Disponible en: http://cursos.aiu.edu/sistemas%20hidraulicas%20y%20neumaticos/pdf/tema%204.pdf

Dónde:

F_{ext} = *fuerza de extensión (N)*

F_{ret} = *fuerza de retracción (N)*

P_{aire} = *presión del aire (Pa)*

D = *Diámetro de la camisa (m)*

d = *Diámetro del vástago (m)*

El rozamiento del pistón en su movimiento equivale a un valor comprendido entre el 3% y el 1O % de la fuerza calculada. En la tabla del Anexo B (fuerzas teóricas para cilindros neumáticos) pueden verse, para varios tamaños de cilindros, la fuerza de empuje y la fuerza a restar por el área del vástago del pistón en el retroceso.

- Carga.

La carga que va a mover el pistón del cilindro se denomina carga de trabajo, y está dada en N. Esta deberá ser menor que la fuerza máxima teórica del cilindro.

- Consumo de aire.

El consumo de aire del cilindro es una función de la relación de compresión, del área del pistón y de la carrera según la siguiente formula:

- Para cilindros de simple efecto

$$Consumo\ de\ aire = relacion\ de\ compresion * area\ piston * carrera * ciclos/min$$

- Para cilindros de doble efecto

$$Consumo\ de\ aire = 2 * relacion\ de\ compresion * area\ piston * carrera * ciclos/min$$

La relación de compresión está dada por:

$$(P_{atm} + P_{aire})/P_{atm} \qquad \textbf{5. 8}$$

El volumen de aire requerido para una carrera del pistón expresado en cm^3 es:

$$V(dm^3) = \frac{\pi}{4} * D^2 \frac{mm^2}{10000} * \frac{l}{100} = \frac{\pi}{4000000} * D^2 * l \qquad \textbf{5. 9}$$

- Velocidad del pistón

La velocidad del pistón se obtiene dividiendo el caudal por la sección del pistón:

$$F = P_{aire} * Area\ pistón \qquad \textbf{5. 10}$$

$$Velocidad\ (dm^3/min) = \frac{P_{aire} + P_{atm}}{P_{atm}} * \frac{\pi * D^2 * l}{4000000} * n * \frac{40000}{\pi * D^2} = \frac{P_{aire} + P_{atm}}{P_{atm}} * \frac{n * l}{100} \quad \textbf{5. 11}$$

Esta velocidad sería algo menor debido a los espacios muertos en los cilindros (posiciones finales de los cilindros y tuberías de alimentación), la fuerza del muelle antagonista, la pérdida de carga provocada por la longitud y sección de las tuberías y por las válvulas de mando y las de escape. La velocidad media del émbolo en los cilindros estándar se establece entre 0.1 y 1.5 m/seg.

5.1.5.7.7. Métodos de control[21]

Los sistemas utilizados en el control de los mecanismos en el proceso del termoformado dependen del tipo de trabajo bajo el cual se diseña la máquina: la velocidad del termoformado, la calidad, el número de personas que operan el sistema, entre otros factores. Para el termoformado de elementos a gran escala, es indispensable el uso de controladores electrónicos que reduzcan en gran porcentaje el error humano que implican pérdidas o retrasos en los tiempos de producción. Cuando se trata de procesos en donde la variable tiempo no representa gran importancia es un operario capacitado el que realiza el accionamiento y supervisión de los sistemas de la máquina para que cumplan con su fin.

- Control manual:

Involucra a una persona capacitada de la mejor manera para llevar a cabo acciones que permiten el correcto funcionamiento de la máquina para realizar el trabajo. En este tipo de control el proceso de se vuelve dependiente a factores humanos tales como fatiga, estados de ánimo, actitud, aptitud entre otros.

El control manual incluye distintos tipos de accionamientos según la tarea a realizar:

Dispositivos eléctricos como pulsadores, selectores de giro; para la resistencia eléctrica y la alimentación del sistema; válvulas neumáticas o hidráulicas operadas manualmente por medio de palanca para las partes móviles del conjunto, así como pedales o mecanismos para realizar esa misma acción.

---

[21] SISTEMAS DE CONTROL. [en línea]. Actualizada: 20 Marzo de 2015. [Fecha de consulta: 12 Noviembre de 2017]. Disponible en: https://sites.google.com/site/automatizacionycontrol2/instrumentacion/medicion-y-control

- Control automático

Todo sistema de control automático presenta cuatro componentes básicos: sensor o elemento primario, transmisor o elemento secundario, controlador y elemento final de control (válvulas de control, motores, bombas de velocidad variable, etc.).

Dichos componentes realizan las tres operaciones básicas de los sistemas de control: Medición de alguna variable (generalmente se realiza combinando sensor y transmisor), Decisión (la toma el controlador basado en la señal tomada del sensor) y la Acción cuya ejecución está determinada por la decisión tomada por el controlador y se da por medio de los elementos finales de control.

Para la realización de las tres operaciones básicas anteriormente mencionadas, existe un amplio listado de instrumentación, el cual se describe a continuación en orden lógico:

- Instrumentos ciegos

Aquellos que no tienen indicación visible de la variable. Ej. Termostatos o presostatos, en los que sólo es posible calibrar el punto de disparo; transmisores de caudal, presión, sin indicación.

- Instrumentos indicadores

Disponen de un indicador y escala sobre la que puede leerse el valor de la variable.

- Instrumentos registradores

Registran gráficamente la evolución de la variable.

- Elementos primarios

Están en contacto con la variable, utilizando o absorbiendo energía del medio controlado para dar al sistema de medición una indicación en respuesta a la variación de la variable controlada. Algunos ejemplos son las placas de orificio y los elementos de temperatura (termopares o termorresistencias). Cabe indicar que a los instrumentos compactos como manómetros, termómetros, transmisores de presión, etc. ya se supone que el elemento primario está incluido dentro del propio instrumento.

- Transductores

Elementos que reciben una señal de entrada función de una o más cantidades físicas y la convierten modificada o no en una señal de salida. Ej. Un relé, un elemento primario, un convertidor presión-intensidad, etc.

- Transmisores

Son aquellos que captan la variable de proceso, generalmente puede ser a través de un elemento primario, y la transmiten a distancia en forma de señal neumática (3-15 psi), electrónica (4-20 mA), pulsos, protocolarizada (hart) o bus de campo (Fieldbus Foundation, Profibus, etc.). Estos instrumentos dan una señal continua de la variable de proceso. Dentro de los transmisores los hay ciegos (sin indicador local) y con indicador local incorporado.

- Indicadores Locales

Son aquellos instrumentos que captan la variable de proceso y la muestran en una escala visible localmente. Los indicadores locales más utilizados son los manómetros (presión), termómetros (temperatura), rotámetros (caudal), etc. Normalmente estos instrumentos no llevan electrónica asociada, aunque también se consideran indicadores locales a los indicadores electrónicos conectados a los transmisores. Estos últimos pueden ser analógicos o digitales.

- Interruptores

Captan la variable de proceso, y para un valor establecido actúan sobre un interruptor. Es decir, cambian de estado de reposo ha activado cuando el proceso llega a un valor predeterminado. Los instrumentos más habituales son los presostatos, termostatos, interruptores de nivel, flujostatos, etc.

- Convertidores

Reciben un tipo de señal de un instrumento y la modifican a otro tipo de señal. Pueden ser convertidores de señal neumática a electrónica, de mV a mA, de señal continua a tipo contacto, etc. Se usan habitualmente por necesidades de los sistemas de control de homogeneización.

- Controladores

Comparan la variable controlada (presión, nivel, temperatura) con un valor deseado y ejercen una acción correctiva de acuerdo con la desviación. Los PLC, los micro controladores, las placas ARDUINO, son algunos ejemplos.

- Elemento final de control

Recibe la señal del controlador y modifica las acciones de control. Son aquellos instrumentos que reciben un tipo de señal procedente de un controlador y modifica el caudal del fluido o agente de control. Los más habituales son las válvulas de control, servomotor o variador de frecuencia.

5.1.5.7.8. Estructuras, métodos de construcción y materiales[22]

Para empezar se puede decir que una estructura es una “entidad física de carácter unitario, concebida como una organización de cuerpos dispuestos en el espacio de modo que el concepto del todo predomina sobre la relación entre las partes”.

De acuerdo a esta definición vemos que una estructura es un ensamblaje de elementos que mantiene su forma y su unidad, pudiéndola llamar, en un caso dado, sistema estructural. El sistema estructural constituye el soporte básico, el armazón o esqueleto de la estructura total y él transmite las fuerzas actuantes a sus apoyos de tal manera que se garantice seguridad, funcionalidad y economía.

En una estructura se combinan y se analizan tres aspectos:

- Forma
- Materiales y dimensiones de elementos
- Cargas

Los cuales determinan la funcionalidad, economía y estética de la solución propuesta.

Tienen como objetivo resistir cargas resultantes de su uso y de su peso propio y darle forma a un cuerpo, obra civil o máquina, tales como puentes, torres, edificios, estadios, techos, barcos, aviones, maquinarias, presas incluso el cuerpo humano.

Una estructura se diseña para que no falle durante su vida útil. Se reconoce que una estructura falla cuando deja de cumplir su función de manera adecuada.

Las fallas pueden ser: falla de servicio o falla por rotura o inestabilidad.

La falla de servicio es cuando la estructura sale de uso por deformaciones excesivas ya sean elásticas o permanentes y la falla por rotura (resistencia) o inestabilidad se da cuando hay movimiento o separación entre las partes de la estructura, ya sea por mal ensamblaje, malos apoyos o rompimiento del material.

Se conocen dos tipos de estructuras: reticulares (frame) y estructuras tipo placa o cascaron (Shell). Las reticulares se componen por barras rectas o curvas unidas en sus extremos por pasadores o soldadura, mientras que las de placa o cascarón se constituyen de losas continuas curvas o planas con apoyos por lo general en forma continua en sus bordes.

---

[22] ESFUERZOS EN ESTRUCTURAS. [en línea]. Actualizada:. [Fecha de consulta: 2 Noviembre de 2017]. Disponible en: http://estructuras.eia.edu.co/estructurasI/conceptos%20fundamentales/conceptos%20fundamentales.htm

El análisis del comportamiento de un modelo idealizado (estructura), de un sistema estructural se divide en dos tipos: análisis de las acciones y análisis de los desplazamientos. El análisis de las acciones se relaciona con la evaluación de las reacciones en los apoyos y la determinación de la variación de las fuerzas internas y de los esfuerzos en las estructuras. El análisis de los desplazamientos se relaciona con la determinación de la deformación de los elementos de la estructura, así como del desplazamiento del sistema. En el análisis de una estructura frecuentemente se combinan estos dos tipos.

Dentro de las numerosas técnicas utilizadas para realizar diferentes análisis de las acciones y desplazamientos de una estructura, se destacan las siguientes ecuaciones:

- Ecuaciones de equilibrio que se obtienen de la condición de equilibrio para cualquier sistema de fuerzas estáticas.

$$\sum F_x = 0; \sum F_y = 0; \sum M_i = 0 \qquad \textbf{5. 12}$$

- Ecuaciones de compatibilidad que expresan que el desplazamiento de un punto en particular de una estructura debe ser compatible con las deformaciones desarrolladas por la estructura en dicho punto. Dichas ecuaciones surgen de la complejidad misma de la estructura y usualmente se emplean en problemas cuyo número de incógnitas es mayor al número de ecuaciones (estructuras indeterminadas estáticamente).

- Ecuaciones esfuerzo deformación que definen la relación entre el esfuerzo y la deformación para el material que constituye la estructura. La fórmula para hallar el esfuerzo, es:

$$\sigma = \frac{P}{A} \qquad \textbf{5. 13}$$

Para encontrar la deformación se usa la expresión:

$$\in = \frac{\delta}{L} \qquad \textbf{5. 14}$$

Donde $\in$ representa la deformación unitaria, $\boldsymbol{\delta}$ deformación por unidad de longitud y L la longitud.

- Materiales:

Independientemente de la forma del sistema estructural, el tipo de material usado define la resistencia, la flexibilidad, la durabilidad y muchas otras características del mismo. Los materiales se clasifican en cinco grupos: metales, cerámicos, polímeros, semiconductores y materiales compuestos. Los materiales de cada uno de estos grupos poseen estructuras y propiedades distintas.

- Metales.

Los metales y sus aleaciones, incluyendo acero, aluminio, magnesio, zinc, hierro fundido, titanio, cobre y níquel, generalmente tienen como característica una buena conductividad eléctrica y térmica, una resistencia relativamente alta, una alta rigidez, ductilidad y resistencia al impacto. Son particularmente útiles en aplicaciones estructurales o de carga. Aunque en ocasiones se usan metales puros, las combinaciones de metales conocidas como aleaciones proporcionan mejoría en alguna propiedad particularmente deseable o permiten una mejor combinación de propiedades.

- Cerámicos.

El ladrillo, el vidrio, la porcelana, los refractarios y los abrasivos tienen baja conductividad eléctrica y térmica, y a menudo son utilizados como aislantes. Los cerámicos son fuertes y duros, aunque también muy frágiles. Las nuevas técnicas de procesamiento han conseguido que los cerámicos sean lo suficientemente resistentes a la fractura para que puedan ser utilizados en aplicaciones de carga.

- Polímeros.

Producidos mediante un proceso conocido como polimerización, es decir, creando grandes estructuras moleculares a partir de moléculas orgánicas, los polímeros incluyen el hule, los plásticos y muchos tipos de adhesivos. Los polímeros tienen baja conductividad eléctrica y térmica, reducida resistencia y no son adecuados para usarse a temperaturas elevadas. Los polímeros termoplásticos en los cuales las largas cadenas moleculares no están conectadas de manera rígida, tienen buena ductilidad y conformabilidad; los polímeros termoestables son más resistentes, aunque más frágiles porque las cadenas moleculares están fuertemente enlazadas.

- Semiconductores.

Aunque el silicio, el germanio y una variedad de compuestos como el Gas son muy frágiles, resultan esenciales para aplicaciones electrónicas de computadores y de comunicaciones. La conductividad eléctrica de estos materiales puede controlarse para su uso en dispositivos electrónicos como transistores, diodos y circuitos integrados.

- Materiales compuestos[23]

Los materiales compuestos se forman a partir de dos o más materiales, produciendo propiedades que no se encuentran en ninguno de los materiales de manera individual. El concreto, la madera contrachapada y la fibra de vidrio son ejemplos típicos de estos materiales. Con estos, podemos producir materiales ligeros, fuertes, dúctiles,

---

[23] ASKELAND, Donald R. Ciencia e ingeniería de los materiales. 3 ed. México: international thomson editores, 1998., p. 5-9.

resistentes a altas temperaturas, o bien podemos producir herramientas de corte, duras y a la vez resistentes al impacto.

Es importante seleccionar adecuadamente los materiales para lograr que la estructura sea segura, económica y factible, teniendo en cuenta que el seleccionar supone un buen conocimiento de las propiedades mecánicas del material elegido.

5.1.5.7.9. Métodos de unión en sistemas estructurales

En ingeniería, existen básicamente dos tipos de unión o fijación de piezas que se aplican según la necesidad: uniones fijas y uniones desmontables. Las primeras, son aquellas que son imposibles de separar sin que al menos una de sus partes sufra algún desperfecto o rotura. Dentro de los métodos más comunes se encuentran:

- Soldadura
- Remaches
- Adhesivos

Las uniones desmontables se usan en el evento en el que se requiera realizar la separación de los elementos, de una manera sencilla y sin deteriorar alguna de las partes. Los métodos comúnmente usados son:

- Pasadores
- Elementos roscados
- Guías
- Ejes estriados
- Chavetas
- Cuñas
- Lengüetas

En los anexos C y D, se pueden observar las diferentes características de algunos de los métodos más frecuentes de unión con adhesivos. Al momento de realizar una unión, sin importar de que tipo, se deben tener en cuenta varios factores como el tipo de carga, compatibilidad, mano de obra, costos, dificultad o facilidad de obtención, estandarización, inventarios, fácil ensamble, disminución de herramientas, entre otras, y analizarlos detenidamente para tomar una determinación.

5.1.5.7.10. ARTÍCULOS OBTENIDOS POR MEDIO DE TERMOFORMADO[24]

Muchos de los productos termoformados en uso actualmente, han sido hechos para reemplazar sus formas de uso original; esta situación se ha dado tan rápidamente que

---

[24] PLASTIGLÁS DE MÉXICO S.A. DE C.V. Manual del termoformado., p. 5-7.

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.

- Industria de 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 (blíster) son de alimentación automática de alta velocidad. Estos equipos se denominan "forma-llena-sella" y sirven para el empacado de cosméticos, carnes frías, refrescos, dulces, artículos de papelería, etc.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

- Industria medica:

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.

- Agricultura:

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, bandejas para crecimiento de semillas, contenedores para siembra, etc.

- Construcción:

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. El acrílico en este sector se ve ampliamente utilizado por sus propiedades de resistencia a la intemperie y termoformabilidad.

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

- 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.

- 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, aun cuando su producción requiere una técnica de termoformado de precisión.

6. INGENIERÍA DEL PROYECTO: CÁLCULO Y DISEÑO DE MÁQUINA TERMOFORMADORA DIDACTICA

Las especificaciones para el diseño y cálculo la máquina termoformadora didáctica varían, dependiendo del producto terminado que se pretende obtener y por lo tanto es necesario considerar:

Voltaje, potencia, amperaje, área útil de formado, número de calefactores (inferior y/o superior), controles de regulación de temperaturas, grado de automatización, capacidad para aceptar ayudas mecánicas, tipo de sujeción de la lámina, ventiladores para el enfriamiento de la pieza, dimensiones generales, capacidad de producción, costo-beneficio. Para la correcta selección de la mejor alternativa, es necesario tener en cuenta lo siguiente:

6.1. RESTRICCIONES Y LIMITACIONES

Económicas: aunque se trata de una maquina didáctica y su uso va a ser netamente académico, se debe evitar exceder el costo que pueda tener esta en el mercado, desde luego, teniendo en cuenta las características técnicas y constructivas.

Físicas: tiene que ver con el espacio disponible en los laboratorios para la ubicación de la máquina, su puesta a punto y en dado caso, su desplazamiento.

Ambientales: el funcionamiento del dispositivo, su manipulación y en general, toda labor que involucre el uso de esta, deberá contemplar sus efectos ambientales como el ruido, la contaminación, variación critica del entorno, etc., y de alguna manera controlarlos.

Humanas: el grado de capacitación de las personas que vayan a maniobrar la maquina debe ser el mínimo requerido con el fin de evitar malos procedimientos, daños a la termoformadora o incluso accidentes.

6.2. PARÁMETROS DE DISEÑO

Estos parten de la necesidad que tiene la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas de tener una termoformadora didáctica, y el criterio de diseño de los constructores basados en las restricciones y limitaciones…véase el numeral 6.1...

Las dimensiones del equipo, surgen de un estudio de espacio disponible y ergonomía al momento de manipularlo, apoyados en ejemplos vistos en la web y en la industria. A partir de esto, se determina que la maquina termoformadora

tendrá una altura de 1.90 m, un ancho de 0.70 m y una profundidad de 0.70 m. El banco de trabajo, o área de termoformado máxima aprovechable será de 2500cm^2 y a partir de ahí, se calculará el sistema de calentamiento apropiado. La distancia entre la lámina perforada y la zona de calentamiento es de aproximadamente 50 cm y está determinada por una optimización de espacio debido a que se va a usar un molde de 7 cm de altura como máximo, y a la vez, se desea tener comodidad al momento de montar la lámina en el marco de sujeción. De acuerdo a lo anterior, los parámetros de diseño son:

- El dispositivo debe operar de manera semiautomática
- Debe ser fácil de manipular
- De fácil mantenimiento
- Segura y confiable

6.3. FACTORES A ANALIZAR

De los procesos de termoformado existentes, se realiza una selección teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Facilidad de construcción: Involucra la dificultad de construcción de cada elemento de la máquina, así como los posibles tiempos de fabricación y materiales disponibles.
- Costo Es uno de los factores más importantes ya que debe relacionar calidad del producto, con un presupuesto cómodo y viable para la fuente de los recursos económicos, que en este caso, sería la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Vida útil del dispositivo Dependerá del uso y de los intervalos de mantenimiento que se le hagan a la máquina, así como la carga de trabajo y la manipulación por parte de los operarios.
- Facilidad de montaje Relaciona el tiempo desde la fabricación, ensamble y prueba de la máquina, hasta su ubicación y puesta a punto.
- Mantenimiento del equipo Contempla la complejidad para realizar el mantenimiento a que haya lugar (correctivo, preventivo, predictivo, etc.), teniendo en cuenta paradas inesperadas, tiempos muertos de operación, entre otros.
- Seguridad Determina la seguridad que la maquina brinda y que el operario debe tener al momento de la manipulación de la misma.
- Apariencia y estética Este factor generalmente se omite en muchos diseños, pero es de mucha importancia al momento de presentar un producto innovador con la intención de captar la atención de quienes estén interesados en adquirirlo.

6.4. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Haciendo un análisis comparativo entre los distintos métodos de termoformado…véase numeral 5.1.5.7.1…, se encuentra que la mayoría de ellos tienen en común ciertos sistemas principales como lo son:

- Sistema de calefacción de la lámina
- Sistema estructural
- Sistema de formado
- Sistema motriz para desplazamiento de la lámina
- Sistema de control

Para cada sistema, se seleccionan tres alternativas de diseño de las estudiadas en el numeral 5.1.5.7., y las cuales serán identificadas con las letras A, B y C para su respectiva evaluación.

Por otra parte, a continuación se presenta una evaluación de algunas variables que conforman cada factor…véase numeral 6.3…, usando un método de puntuación de 1 a 4, según la importancia de cada una de ellas, siendo 1 la de menor importancia y 4 la de más relevancia, así:

Tabla 10. Calificación de factores y variables

FACTORES	VARIABLES	Ptos.
Facilidad de construcción	Herramienta disponible	1
	Tipo de ensamble	2
	Obtención de material	3
	Mano de obra calificada	4
*Costo	Muy costoso	1
	Costoso	2
	Económico	3
	Muy económico	4
Vida útil del dispositivo	Frecuencia de trabajo	1
	Fallas por fatiga	2
	Mano de obra calificada para operarla	3
	Componentes robustos y duraderos	4
Facilidad de montaje	Espacio disponible	1
	Entorno seguro	2
	Desplazamiento del equipo	3
	Acceso a servicios (energía, gas, agua, aire)	4
Mantenimiento del equipo	Fácil obtención de repuestos	1
	Mano de obra calificada	2
	Intervalos de mantenimiento cortos	3
	Bajo mantenimiento	4

Fuente: Autores.

Tabla 10. Calificación de factores y variables. (Continuación).

Seguridad	Ergonomía	1
	Bajo riesgo de accidentalidad al momento de operar	2
	No presencia de agentes peligrosos (gases y radiación)	3
	Pocas fallas en elementos eléctricos y mecánicos	4
Apariencia y estética	Simetría del conjunto	1
	Componentes compactos	2
	Acabado y terminado de elementos	3
	Resistencia a la corrosión	4
* Para este factor, no se hará sumatoria. El valor total corresponderá al de una de las variables		

Fuente: Autores.

Una vez revisadas cada una de las variables, se realiza la suma de los puntos y el total será el valor de cada factor. De esta forma se califica la alternativa de acuerdo al puntaje más alto, con el fin de seleccionar la más viable y de esta manera realizar un diseño preliminar.

6.4.1. Sistema de calentamiento de la lámina.

De acuerdo a los distintos tipos de termoformado, existen varias alternativas para calentar la lámina.

A. Horno a gas con circulación forzada de aire
B. Horno de calentamiento infrarrojo
C. Resistencias eléctricas de calentamiento lineal

Tabla 11. Alternativa para el sistema de calentamiento de la lámina

FACTORES	ALTERNATIVAS		
	A	B	C
Facilidad de construcción	4	6	8
Costo	4	6	9
Vida útil del dispositivo	8	7	5
Facilidad de montaje	2	6	9
Mantenimiento del equipo	3	7	9
Seguridad	6	8	8
Apariencia y estética	8	8	6
TOTAL	35	48	54

Fuente: Autores.

6.4.2. Sistema estructural

De acuerdo a los tipos de estructura, las alternativas para su fabricación son:

A. Acero estructural
B. Aluminio estructural
C. Polímero

Tabla 12. Alternativa para el sistema estructural

FACTORES	ALTERNATIVAS		
	A	B	C
Facilidad de construcción	4	6	7
Costo	2	6	6
Vida útil del dispositivo	8	6	7
Facilidad de montaje	5	8	7
Mantenimiento del equipo	7	7	7
Seguridad	6	4	6
Apariencia y estética	8	9	5
TOTAL	40	46	45

Fuente: Autores.

6.4.3. Sistema de formado

Según el tipo de producto deseado, algunos métodos de formado son:

A. Formado al vacío
B. Formado con aire a presión
C. Formado con ayudas mecánicas

Tabla 13. Alternativa para el sistema de formado

FACTORES	ALTERNATIVAS		
	A	B	C
Facilidad de construcción	6	5	7
Costo	6	6	6
Vida útil del dispositivo	8	7	4
Facilidad de montaje	3	5	7
Mantenimiento del equipo	6	8	7
Seguridad	8	4	6
Apariencia y estética	8	6	4
TOTAL	45	41	41

Fuente: Autores.

6.4.4. Sistema motriz para desplazamiento de la lámina

Para el desplazamiento de la lámina, existen diversos mecanismos y formas que varían según las cargas, las direcciones del movimiento y la frecuencia de trabajo. Se decide tomar tres de esas alternativas, obteniendo:

A. Actuadores electro neumáticos
B. Servomecanismos
C. Palancas y bielas

Tabla 14. Alternativa para el sistema motriz

FACTORES	ALTERNATIVAS		
	A	B	C
Facilidad de construcción	4	2	7
Costo	4	2	6
Vida útil del dispositivo	8	7	3
Facilidad de montaje	8	3	7
Mantenimiento del equipo	8	3	8
Seguridad	8	8	4
Apariencia y estética	8	7	3
TOTAL	48	32	38

Fuente: Autores.

6.4.5. Sistema de control

Para el proceso de termoformado, el control de la maquina se puede ejecutar de forma manual, semiautomática y automática, por medio de pulsadores, relés térmicos, controladores electrónicos, etc. Las alternativas a evaluar son:

A. Manual (palancas y pedales)
B. Controladores electrónicos
C. Control eléctrico

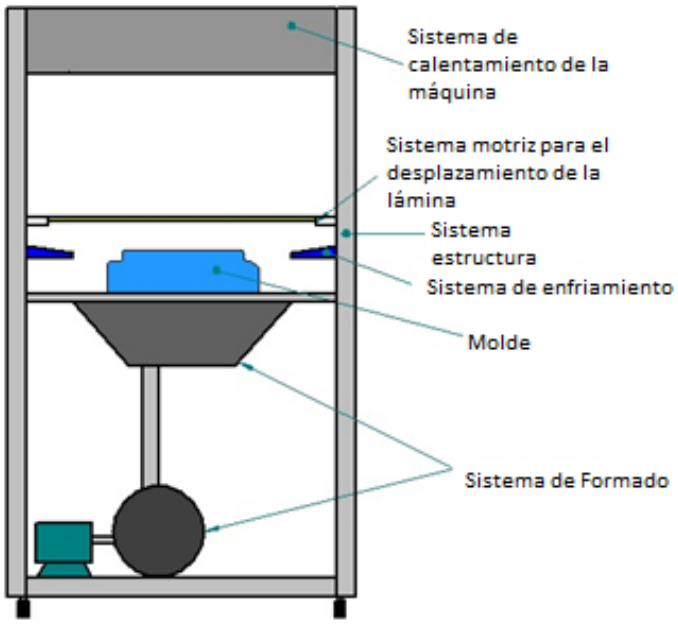
Tabla 15. Alternativa para el sistema de control.

FACTORES	ALTERNATIVAS		
	A	B	C
Facilidad de construcción	7	4	5
Costo	6	2	4
Vida útil del dispositivo	3	8	6
Facilidad de montaje	6	4	7
Mantenimiento del equipo	7	3	5
Seguridad	2	8	4
Apariencia y estética	2	9	3
TOTAL	33	38	34

Fuente: Autores.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación de las alternativas de diseño disponibles…véase el numeral 6.4… se realiza un diseño preliminar organizando sus principales sistemas así:

Figura 23. Bosquejo de termoformadora



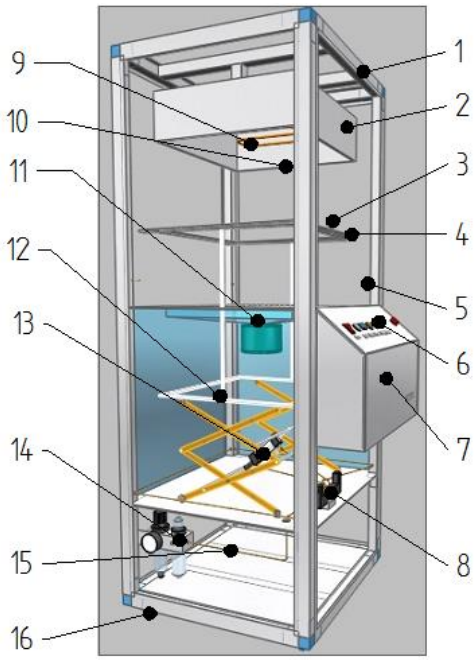
Fuente: Autores.

- Sistema de calentamiento: Se determina el uso de resistencias eléctricas con el fin de conseguir un calentamiento en la lámina más uniforme de forma fácil y económica. Dichas resistencias estarán ubicadas en la parte superior del dispositivo, encerradas en un aislamiento debidamente calculado con el fin de proteger los componentes que se encuentren cerca.
- Sistema estructural: De los materiales que mejor se acomodan a los parámetros de diseño establecidos son los metales; en especial el aluminio por su fácil manejo, resistencia y esbeltez. Por ende se sugiere como material de construcción de la estructura y algunas partes móviles usando como métodos de unión algunos adhesivos estructurales así como elementos en polímero de ensamble a presión consiguiendo la rigidez y estabilidad necesaria.
- Sistema de formado: Por versatilidad, economía y eficiencia se plantea usar un sistema de vacío para formar la lámina de plástico, usando un motor de tipo extractor, comúnmente denominado motor de bypass (aspiradoras industriales) sujeto a una caja herméticamente sellada la cual garantiza mejores acabados cuando se usen moldes de geometría compleja.
- Sistema motriz: Se propone un conjunto de mecanismos accionados por actuadores neumáticos como lo son un cilindro de doble efecto, electroválvulas, racores y mangueras debido a su fácil instalación y su fácil mantenimiento. Dicho sistema se ubicará en la parte intermedia de la máquina.
- Sistema de control: Por ser una maquina automática, se contemplan algunos dispositivos de control electrónico como los son un pirómetro y un micro controlador garantizando de esta forma un óptimo desempeño de esta. Dichos elementos estarán ubicados en la parte frontal de la máquina, junto con otros elementos de maniobra, conformando así todo el control eléctrico del dispositivo.

6.5. DISEÑO Y MODELADO DEL DISPOSITIVO

De acuerdo a las características descritas para cada sistema, como material seleccionado y la forma en que va a operar cada uno de ellos, se realiza un dibujo mejor elaborado haciendo uso del software de dibujo Solid Edge, con el fin de visualizar mejor el dispositivo que se pretende simular y verificar a escala, sus partes y principales sistemas, las medidas, su apariencia, ventajas y desventajas que pueda tener dicho diseño. En la siguiente figura, se presenta la propuesta del dispositivo:

Figura 24. Diseño de termoformadora



1	Sistema estructural
2	Sistema térmico
3	Marco porta lámina
4	Seguro del marco
5	Sistema de refrigeración
6	Botones de control
7	Panel de control
8	Válvulas de control
9	Resistencia térmica
10	Sensor
11	Sistema de Vacío
12	Sistema elevador
13	Cilindro neumático
14	Unidad de mantenimiento
15	Mangueras para el aire
16	Ruedas

Fuente: Autores.

6.5.1. DISEÑO DE ELEMENTOS Y SISTEMAS DE LA MÁQUINA TERMOFORMADORA

6.5.1.1. Diseño del sistema de calentamiento:

El manual del termoformado enuncia algunos criterios[25] para el diseño del sistema térmico. Uno de estos se refiere a la longitud máxima de la resistencia tubular,

[25] PLASTIGLÁS DE MÉXICO S.A. DE C.V. Manual del termoformado., p. 26

siendo esta de 200cm. Si se requiere abarcar un área mayor, se deben usar secciones alimentadas independientemente para lograr un calentamiento uniforme en toda la resistencia. Otro criterio, es el tiempo aproximado que tarda en calentarse un calibre medio de una lámina de plástico a termoformar: en un proceso de producción a baja escala; este tiempo estimado es de aproximadamente 20 segundos, según el manual de termoformado.

Teniendo en cuenta un área útil aprovechable de 2800cm^2 (387.5pulg^2), y la relación de potencia-área que debe manejar este tipo de procesos con calentamiento por radiación infrarroja, el cual es de 10W/pulg2, se tiene:

Área dispuesta para la resistencia: $434\ pulg^2$

Relación potencia-área: $10W/pulg^2$

La potencia requerida por la resistencia es:

$$F = P_{aire} * Area\ pistón \quad \textbf{6. 1}$$

$$434\ pulg^2 * \frac{10W}{pulg^2} = 4340W \quad \textbf{6. 2}$$

Para obtener la longitud de la resistencia se usa la relación:

$$1m/1000W \quad \textbf{6. 3}$$

Entonces:

$$4340W * \frac{1m}{1000W} = 4.34m \cong 4m \quad \textbf{6. 4}$$

Con el cálculo anterior, se determina el uso de dos secciones de resistencias con longitud de 200cm cada una.

Con la relación de potencia respecto a la tensión y a la corriente, se obtiene:

$$P = v * I \quad \textbf{6. 5}$$

Las secciones de la resistencia se conectan en serie, lo cual permite sumar la resistencia que oponen estas al flujo de la corriente por el circuito o de la misma manera permite sumar la potencia que entregan las dos.

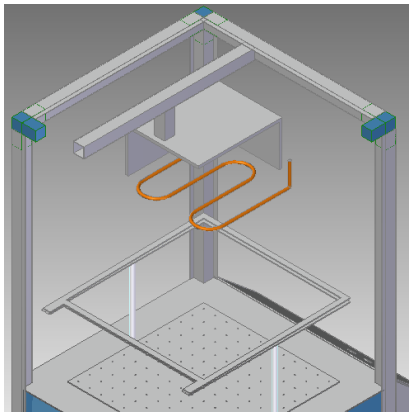
Entonces, para el planteamiento se obtiene que la resistencia en total entrega una potencia de 4340W a una tensión de 220v, donde:

$$I = \frac{P}{v} \quad \textbf{6. 6}$$

$$I = \frac{4340W}{220v} = 19.72A \quad \textbf{6. 7}$$

Temperatura de la superficie de la resistencia:

Figura 25. Resistencia eléctrica para el calentamiento.



Fuente: Autores.

Datos:

Temperatura inicial (T_i)= 15ºC

Temperatura final (T_f)=180ºC

Tiempo requerido (t)= 20s

Propiedades físicas del polímero:

Densidad (d)= 1470Kg/m^3

Calor específico (Cp)=840J/Kg*K

Volumen de la lámina polimérica (V):

$$V = (5 * 10^{-4}m) * 0.5m * 0.5m = 1.25 * 10^{-4}m^3 \quad \textbf{6. 8}$$

Masa de la lámina polimérica (m):

$$m = V * d \quad \textbf{6. 9}$$

$$m = 1.25 * 10^{-4} m^3 * 1470 \frac{Kg}{m^3} = 0.183 Kg \quad \textbf{6. 10}$$

Calor necesario para elevar la temperatura de la lámina 288.15K- 453.15K (Q):

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{m * Cp_{polimero} * \Delta T}{\Delta t} \quad \textbf{6. 11}$$

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{0.183 Kg * 840 \frac{J}{Kg * K} (453.15K - 288.15K)}{20s} \quad \textbf{6. 12}$$

$$\frac{Q}{\Delta t} = 1268.19 \frac{J}{s} \quad \textbf{6. 13}$$

Se considera que el calor que entrega la resistencia es el mismo que recibe la lámina polimérica.

Datos:

Emisividad superficial del incoloy (ε)= 0.5

Constante de Boltzmann (σ)= $5.67*10^{-8} W/m^2*K^4$

Diámetro de la resistencia (D)=$1.1*10^{-2}$m

Longitud de la resistencia (L)= 4m

Temperatura de alrededores (T_z)= 15ºC

Área superficial de la resistencia (A_s):

$$A_s = \pi * D * L \quad \textbf{6. 14}$$

$$A_s = \pi * 1.1 * 10^{-2} m * 4m = 0.13 m^2 \quad \textbf{6. 15}$$

Transferencia de calor de la resistencia hacia la lámina polimérica (Q_{net}):

$$\dot{Q}_{net} = \varepsilon * \sigma * A_s ({T_s}^4 - {T_z}^4) \quad \textbf{6. 16}$$

$$T_s = \sqrt[4]{\frac{\dot{Q}_{net}}{\varepsilon * \sigma * A_s} + {T_z}^4} \quad \textbf{6. 17}$$

$$T_s = \sqrt[4]{\frac{1268.19W}{0.5 * 5.67 * 10^{-8}\frac{W}{m^2 * K^4} * 0.13m^2} + (288.15K)^4} \quad \textbf{6. 18}$$

$$T_s = 769.7K = 496.5°C \quad \textbf{6. 19}$$

6.5.1.2. Diseño del sistema estructural o chasis:

La estructura de la máquina será el ensamble de perfilaría en aluminio formando un prisma rectangular de 180 cm de alto, 70 cm de ancho y 70 cm de profundidad, que contará con una caja cuya función será albergar todos los componentes eléctricos y de control. Este conjunto serviría de soporte de todos los elementos mecánicos, neumáticos, etc., que hacen parte integral de la termoformadora.

Figura 26. Estructura o chasis

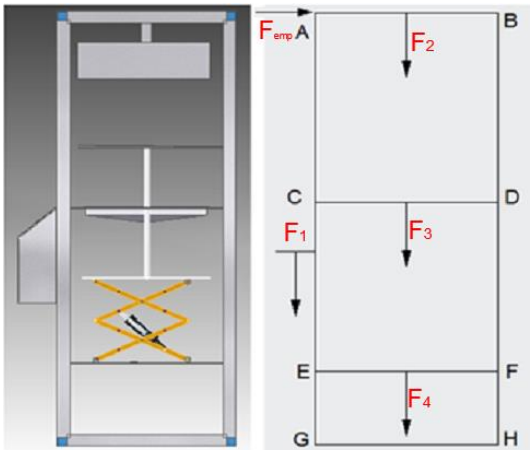


Fuente: Autores

6.5.1.2.1. Geometría del perfil:

Para obtener las dimensiones y el espesor de pared del perfil, es necesario realizarle a la estructura un análisis por columnas y vigas:

Figura 27. Esquema de la estructura para el análisis de cargas



Fuente: Autores

Cargas en la máquina por la masa de los elementos (peso):

$$F_1 = 5N \quad \textbf{6. 20}$$

$$F_2 = 107.9N \approx 108N \quad \textbf{6. 21}$$

$$F_3 = 75.5N \quad \textbf{6. 22}$$

$$F_4 = 98.1N \approx 98N \quad \textbf{6. 23}$$

F_{emp}, carga aplicada en el momento de traslado de la máquina sin contemplar las ruedas, (deslizamiento sobre los perfiles de aluminio).

$$F_{emp} = -(\mu_s N) \quad \textbf{6. 24}$$

$$donde: \mu_{s_{Al-baldosa}} = 0.5 \quad \textbf{6. 25}$$

$$N = -mg = -(F_1 + F_2 + F_3 + F_4) = -286.5N \quad \textbf{6. 26}$$

$$F_{emp} = -(-286.5N * 0.5) = 143.25N \quad \textbf{6. 27}$$

Ecuaciones de equilibrio:

$$\sum Fx = 143.25N - Hx = 0 \quad \textbf{6. 28}$$

$$Hx = 143.25N \quad \textbf{6. 29}$$

$$\sum Fy = Gy + Hy - F_1 - F_2 - F_3 - F_4 = 0 \quad \textbf{6. 30}$$

$$Gy + Hy - 286.5N = 0 \quad \textbf{6. 31}$$

$$\sum M_H = (F2 + F3 + F4) * 0.35m + (F1 * 0.77m) - (Femp * 1.85m) - (Gy * 0.7m) = 0 \quad \textbf{6. 32}$$

$$Gy = \frac{98.5Nm + 3.9Nm - 265Nm}{0.7m} = -232.3N \quad \textbf{6. 33}$$

$$Hy = 286.5N - (-232.3N) = 518.8N \quad \textbf{6. 34}$$

6.5.1.2.2. Diseño de elementos verticales (columnas)

Figura 28. Diagrama de cuerpo libre de las columnas.



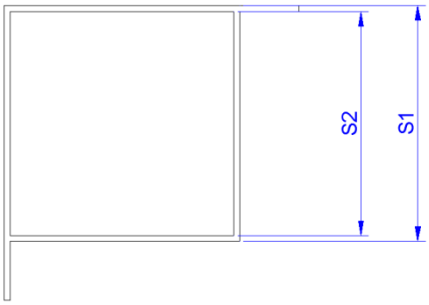
Fuente: Autores

Mayor reacción (ver numeral 6.5.1.2.1. Ecuaciones de equilibrio):

$$Hy = 518.8N \quad \textbf{6. 35}$$

Valor Tentativo del perfil cuadrado =1”

Figura 29. Sección transversal del perfil



Fuente: Autores

Momento de inercia (I):

$$I = \frac{{S_1}^4 - {S_2}^4}{12} \quad \textbf{6. 36}$$

$$I = \frac{0.0254m^4 - 0.0234m^4}{12} = 9.7 * 10^{-9}m^4 \quad \textbf{6. 37}$$

Área de sección transversal (A):

$$A = {S_1}^2 - {S_2}^2 \quad \textbf{6. 38}$$

$$A = (0.0254m)^2 - (0.0234m)^2 = 9.76 * 10^{-5}m^2 \quad \textbf{6. 39}$$

Radio de giro (r):

$$r = 0.289\sqrt{{S_1}^2 + {S_2}^2} \quad \textbf{6. 40}$$

$$r = 0.289\sqrt{(0.0254m)^2 + (0.0234m)^2} = 0.0122m \quad \textbf{6. 41}$$

Longitud efectiva (Le):

$$Le = k * L \quad \textbf{6. 42}$$

Datos: longitud de columna (L)=1.85m

K=0.65

$$Le = 0.65 * 1.85m = 1.20m \quad \textbf{6. 43}$$

Relación de esbeltez (Re):

$$Re = \frac{Le}{r} \quad \textbf{6. 44}$$

$$Re = \frac{1.20m}{0.0101m} = 118.81 \quad \textbf{6. 45}$$

Relación de esbeltez de transición (Cc):

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Sy}} \quad \textbf{6. 46}$$

Datos:

$$Sy_{al-1060} = 28MPa = 28 * 10^6 Pa \quad \textbf{6. 47}$$

$$E_{al-1060} = 69GPa = 69 * 10^9 Pa \quad \textbf{6. 48}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^{2*}69 * 10^9 Pa}{28 * 10^6 Pa}} = 124.43 \quad \textbf{6. 49}$$

$$Re < Cc = Columna\ corta \quad \textbf{6. 50}$$

Fórmula de J.B. Johnson para columnas cortas:

Donde, Pcr= carga critica

$$Pcr = A * Sy\left(1 - \frac{Sy\left(\frac{KL}{r}\right)^2}{4\pi^2 * E}\right) \quad \textbf{6. 51}$$

$$Pcr = A * Sy\left(1 - \frac{Sy(Re)^2}{4\pi^2 * E}\right) \quad \textbf{6. 52}$$

$$Pcr = 9.76 * 10^{-5} m^2 * 28 * 10^6 Pa\left(1 - \frac{28 * 10^6 Pa(118.81)^2}{4\pi^2 * 69 * 10^6 Pa}\right) = 1487.1N \approx 1487N \quad \textbf{6. 53}$$

Carga admisible (Pa):

$$Pa = \frac{Pcr}{N} \quad \textbf{6. 54}$$

Donde, factor de seguridad N=3

$$Pa = \frac{1487N}{3} = 495.7N \quad \textbf{6. 55}$$

Carga admisible por cada par de columnas (Pa_2)

$$Pa_2 = Pa * 2 \quad \textbf{6. 56}$$

$$Pa_2 = 495.7N * 2 = 991.4N \quad \textbf{6. 57}$$

$$991.4N > 518.8N \quad \textbf{6. 58}$$

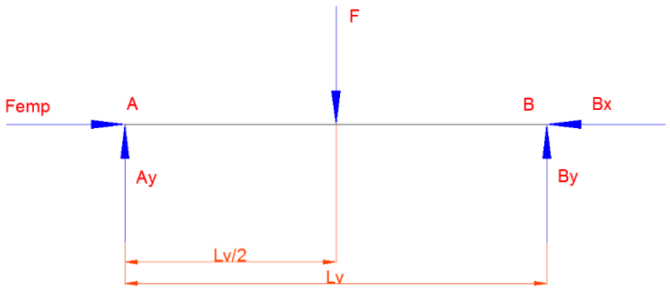
La carga admisible es mayor a la que presenta el sistema estructural.[26]

6.5.1.2.3. Diseño de elementos horizontales (Vigas)

Por la manera de sujeción entre columnas y vigas, se debe manejar la misma geometría y dimensionamiento del perfil.

Cargas sobre la viga analizada:

Figura 30. Diagrama de cuerpo libre de las vigas.



Fuente: Autores

[26] POLIMEROS. [en línea]. Actualizada:. [Fecha de consulta: 7 septiembre de 2017]. Disponible en: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000155/lecciones/lec9/9_1.htm

Dónde:

F=108N

F_{emp}=143.25N

Lv=0.7m

Ecuaciones de equilibrio:

$$\sum Fx = F_{emp} - Bx = 0 \quad \textbf{6. 59}$$

$$Bx = F_{emp} = 143.25N \quad \textbf{6. 60}$$

$$\sum Fy = Ay - F + By = 0 \quad \textbf{6. 61}$$

$$Ay + By = 108N \quad \textbf{6. 62}$$

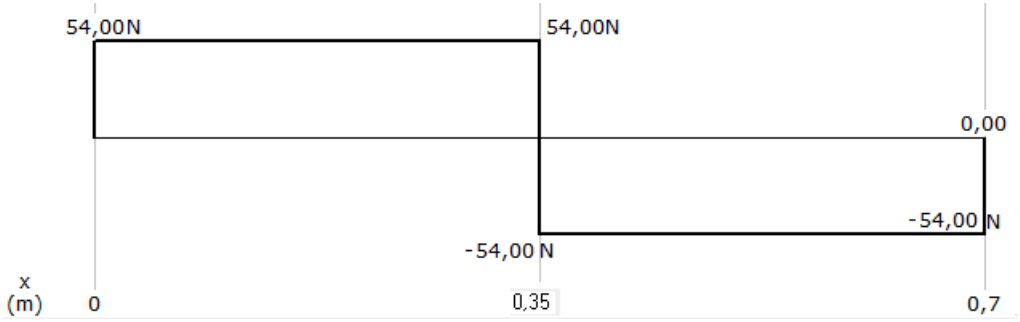
$$\sum M_B = (F * 0.35m) - (Ay * 0.7m) = 0 \quad \textbf{6. 63}$$

$$Ay = \left(\frac{108N * 0.35m}{0.7m}\right) = 54N \quad \textbf{6. 64}$$

$$By = 108N - 54N = 54N \quad \textbf{6. 65}$$

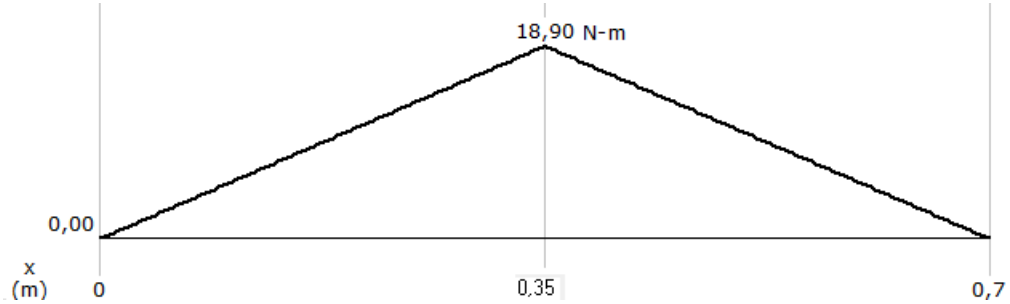
Diagrama de fuerza cortante y momento flexionante:

Figura 31. Diagrama de fuerza cortante de la viga en perfil cuadrado



Fuente: Autores

Figura 32. Diagrama de momento flexionante de la viga en perfil cuadrado



Fuente: Autores

Perfil cuadrado =1”

Esfuerzo causado por flexión (σ):

$$\sigma = \frac{+Mc}{I}$$

Dónde:

M= momento flector (máx.)=18.9Nm

I= momento de inercia= $5.14*10^{-9}m^4$

C= distancia desde el eje neutro= 0.0127m

$$\sigma = \frac{18.9Nm * 0.0127m}{9.7 * 10^{-9}m^4} = 25MPa \qquad \textbf{6. 66}$$

Esfuerzo para cada viga

$$\sigma_2 = \frac{\sigma}{n} \qquad \textbf{6. 67}$$

Donde n= número de vigas=2

$$\sigma_2 = \frac{25MPa}{2} = 12.5MPa \qquad \textbf{6. 68}$$

Esfuerzo de diseño (σ_d):

$$\sigma_d = \sigma_2 * N \qquad \textbf{6. 69}$$

Donde, factor de seguridad N=3

$$\sigma_d = 12.5MPa * 3 = 37.5MPa \quad \textbf{6. 70}$$

$$37.5MPa > 28MPa \quad \textbf{6. 71}$$

El esfuerzo en la viga es mayor al que soporta el material, las dimensiones del perfil se deben modificar.

Perfil cuadrado =1 1/2”

Momento de inercia (I):

$$I = \frac{{S_1}^4 - {S_2}^4}{12} \quad \textbf{6. 72}$$

$$I = \frac{0.0384m^4 - 0.0361m^4}{12} = 3.4 * 10^{-8}m^4 \quad \textbf{6. 73}$$

Esfuerzo causado por flexión (σ):

$$\sigma = \frac{+Mc}{I} \quad \textbf{6. 74}$$

Dónde:

M= momento flector (máx.)=18.9Nm

I= momento de inercia=$3.4*10^{-8}m^4$

C= distancia desde el eje neutro= 0.01905m

$$\sigma = \frac{18.9Nm * 0.01905m}{3.4 * 10^{-8}m^4} = 5MPa \quad \textbf{6. 75}$$

Esfuerzo para cada viga

$$\sigma_2 = \frac{\sigma}{n} \quad \textbf{6. 76}$$

Donde n= número de vigas=2

$$\sigma_2 = \frac{5MPa}{2} = 2.5MPa \quad \textbf{6. 77}$$

Esfuerzo de diseño (σ_d):

$$\sigma_d = \sigma_2 * N \quad \textbf{6. 78}$$

Donde, factor de seguridad N=3

$$\sigma_d = 2.5MPa * 3 = 7.5MPa \quad \textbf{6. 79}$$

$$7.5MPa < 28MPa \quad \textbf{6. 80}$$

Las dimensiones del perfil son óptimas para la viga.

El conjunto viga-columna debe ser simulado con un único tipo y dimensionamiento de perfil debido a la forma de sujeción.

Se selecciona perfil cuadrado de 1 ½”

6.5.1.2.4. Cálculo para perfil en ángulo (sujeción de lámina):

Carga máxima total ($F_{máx}$)= 98N

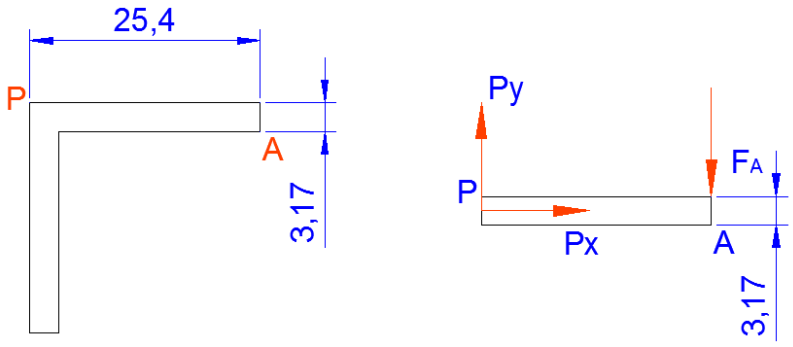
Cantidad de ángulos (n)= 4

Carga por ángulo (F_u):

$$F_u = \frac{F_{máx}}{n} \quad \textbf{6. 81}$$

$$F_u = \frac{98N}{4} = 24.5N \quad \textbf{6. 82}$$

Figura 33. Sección transversal y D.C.L de perfil en ángulo



Fuente: Autores

Datos:

$F_A = F_u = 24.5N$

Ecuaciones de equilibrio:

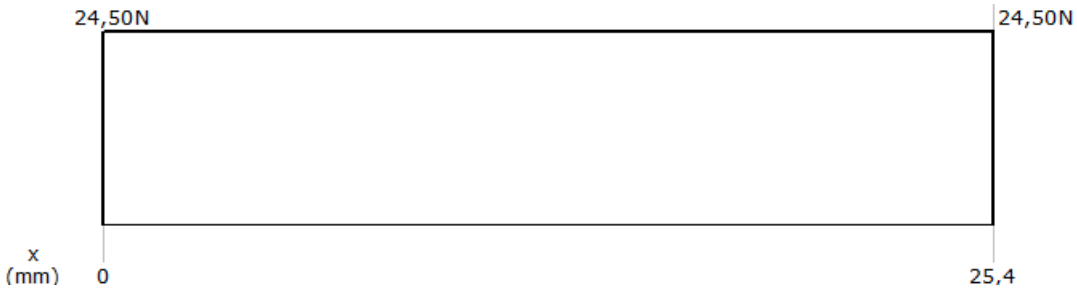
$$\sum Fx = Px = 0 \quad \textbf{6. 83}$$

$$\sum Fy = Py - F_A = 0 \quad \textbf{6. 84}$$

$$Py = F_A = 24.5N \quad \textbf{6. 85}$$

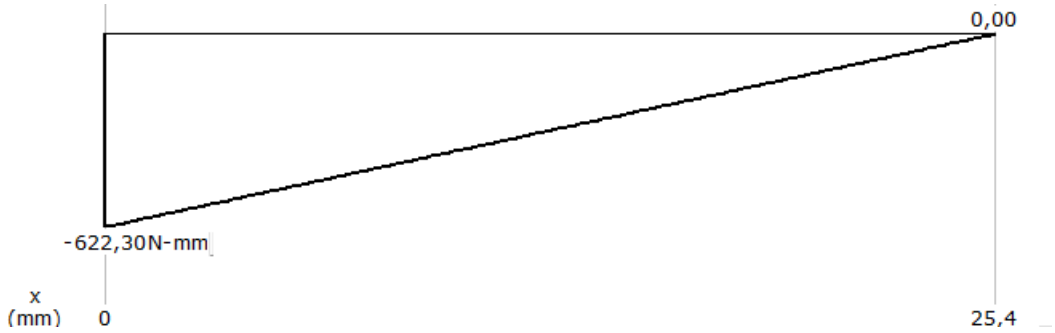
Diagrama de fuerza cortante y momento flexionante:

Figura 34. Diagrama de fuerza cortante de perfil en ángulo



Fuente: Autores

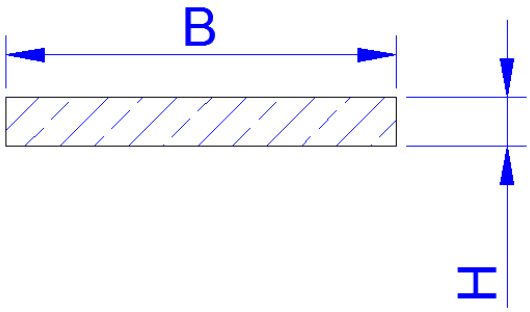
Figura 35. Diagrama de momento flexionante de perfil en ángulo



Fuente: Autores

Momento de inercia (I):

Figura 36. Sección del perfil en ángulo a analizar



Fuente: Autores

$$I = \frac{B * H^3}{12} \quad \textbf{6. 86}$$

$$I = \frac{(0.0381m) * (3.1 * 10^{-3}m)^3}{12} = 9.45 * 10^{-11}m^4 \quad \textbf{6. 87}$$

Esfuerzo causado por flexión (σ):

$$\sigma = \frac{+Mc}{I} \quad \textbf{6. 88}$$

Dónde:

M= momento flector (máx.)= 622.23Nmm= 0.62Nm

I= momento de inercia= $9.45*10^{-11}m^4$

C= distancia desde el eje neutro= $1.58*10^{-3}m$

$$\sigma = \frac{0.62Nm * 1.58 * 10^{-3}m}{9.45 * 10^{-11}m^4} = 10MPa \quad \textbf{6. 89}$$

Esfuerzo de diseño (σ_d):

$$\sigma_d = \sigma_2 * N \quad \textbf{6. 90}$$

Donde, factor de seguridad N=2.5

$$\sigma_d = 10MPa * 2.5 = 25MPa \quad \textbf{6. 91}$$

$$25MPa < 28MPa \quad \textbf{6. 92}$$

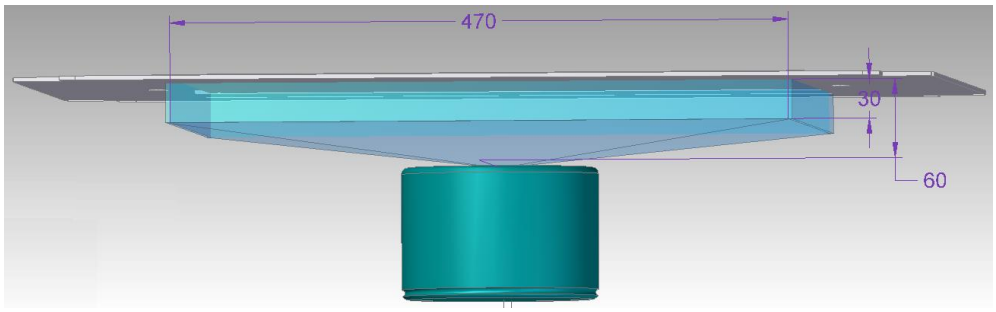
El perfil de ángulo es óptimo para el soporte.

6.5.1.2.5. Selección de ruedas para el desplazamiento de la termoformadora.

El criterio de selección de las ruedas se basa en el número de ruedas a emplear, dependiendo de la cantidad de puntos de apoyo disponibles en el dispositivo. Además del peso de la máquina termoformadora. En el Anexo E se encuentran las especificaciones técnicas de la rueda seleccionada.

6.5.1.3. Diseño del sistema de formado:

Figura 37. Sistema de vacío de la termoformadora



Fuente: Autores

Dimensiones máximas del molde: (38*38*7) cm

Volumen al interior del molde (Vn):

$$Vn = (0.38m)^2 * 0.07m \quad \textbf{6. 93}$$

$$Vn = 1.01 * 10^{-2}m^3 \quad \textbf{6. 94}$$

Volumen de tolva (Vt):

$$Vt = ((0.47m)^2 * 0.03m) + \left(\frac{(0.47m)^2 * 0.03m}{3}\right) \quad \textbf{6. 95}$$

$$Vt = 8.83 * 10^{-5}m^3 \quad \textbf{6. 96}$$

Máximo volumen a desplazar (Vd):

$$Vd = Vn + Vt \quad \textbf{6. 97}$$

$$Vd = 1.01 * 10^{-2}m^3 + 8.83 * 10^{-5}m^3 = 1.89 * 10^{-2}m^3 \quad \textbf{6. 98}$$

Tiempo de vacío sobre el molde (t):

$$t = 2s \quad \textbf{6. 99}$$

Flujo volumétrico requerido (f):

$$f = \frac{Vd}{t} * N \quad \textbf{6. 100}$$

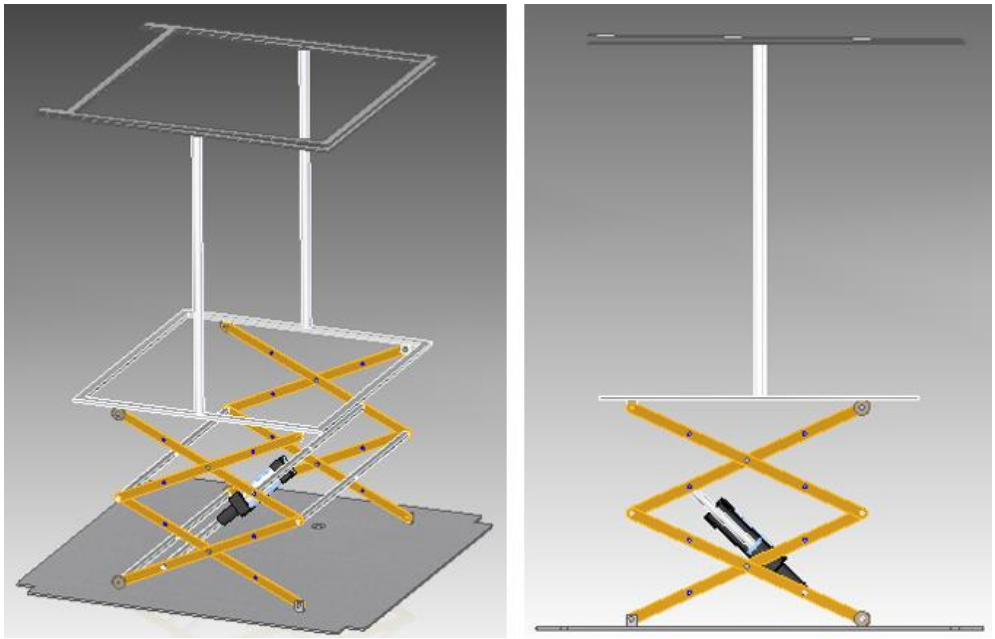
Donde, factor de seguridad N=3

$$f = \frac{1.89 * 10^{-2}m^3}{2s} * 3 = 2.83 * 10^{-2}\frac{m^3}{s} \quad \textbf{6. 101}$$

6.5.1.4. Diseño del sistema motriz:

Es el encargado de transportar la lámina para cada una de las etapas del proceso de termoformado. Lo conforman el marco de sujeción de la plancha, las barras de elevación, el marco porta barras y el mecanismo elevador de tijera. Este último debe soportar una carga muy pequeña (aprox. 40N), por lo cual los cálculos se centran principalmente en las distancias que debe recorrer y solamente se abordara el tema de las cargas al momento de seleccionar el cilindro neumático. Estos componentes se modelan en el Software Solid Edge, como muestra en la figura 32.

Figura 38. Sistema motriz.



Fuente: Autores

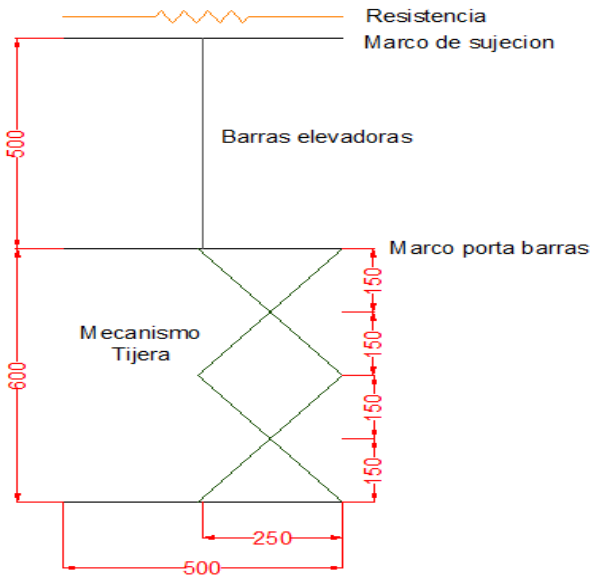
Se determina usar platina de aluminio estructural de ¾” de ancho y 1/8” de espesor. Aunque en el mercado se encuentran calibres más delgados que pueden soportar la carga estimada, se elige la anteriormente descrita con el fin de poder manipular mejor la estructura.

Los parámetros para el diseño del elevador de tijera son:

- Recorrido máximo del marco de sujeción de la lámina: 50 cm
- Área disponible para el mecanismo de tijera: 2500 cm^2
- Los apoyos móviles del mecanismo tijera no deben sobrepasar la mitad del marco porta barras.

Esquemáticamente se tiene:

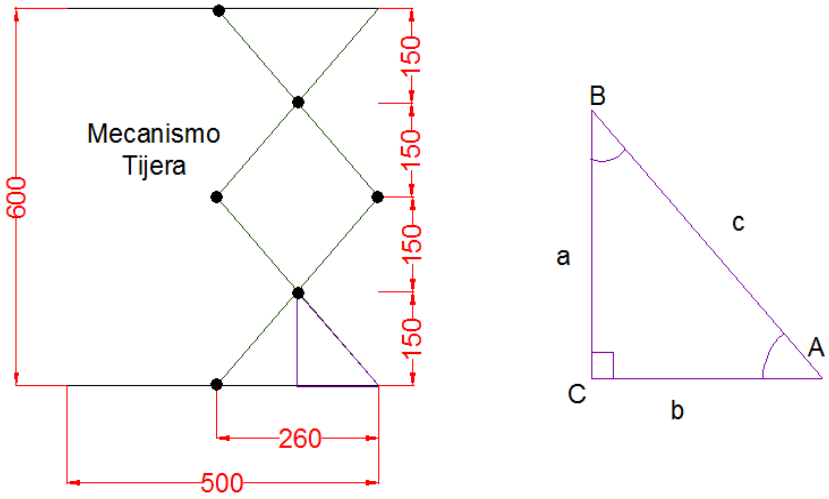
Figura 39. Esquema mecanismo tijera



Fuente: Autores

Por trigonometría se puede calcular las longitudes de las barras del mecanismo, así como las distancias que recorre cada sección. Dichos cálculos, permitirán seleccionar la carrera precisa del cilindro neumático:

Figura 40. Esquema trigonométrico del mecanismo de tijera



Fuente: Autores

Datos:

a= 15 cm

b= 13 cm

C= 90°

De acuerdo al teorema de Pitágoras

$$a^2 + b^2 = c^2 \quad \textbf{6. 102}$$

$$\sqrt[2]{(a^2 + b^2)} = c \quad \textbf{6. 103}$$

$$\sqrt[2]{(15\ cm)^2 + (13\ cm)^2} = c \quad \textbf{6. 104}$$

$$19.84\ cm = c \quad \textbf{6. 105}$$

La longitud de cada platina es:

$$Lp = 2c \quad \textbf{6. 106}$$

$$Lp = 2 * (19.84\ cm) \quad \textbf{6. 107}$$

$$Lp = 39.68\ cm \quad \textbf{6. 108}$$

Para hallar el ángulo de la platina inferior respecto a la base cuando el sistema está extendido, se usa la ley de Senos:

$$Sen\frac{A}{a} = Sen\frac{C}{c} \quad \textbf{6. 109}$$

$$Sen\ A = a * Sen\frac{C}{c} \quad \textbf{6. 110}$$

$$Sen\ A = 15\ cm * Sen\frac{90°}{19.84\ cm} \quad \textbf{6. 111}$$

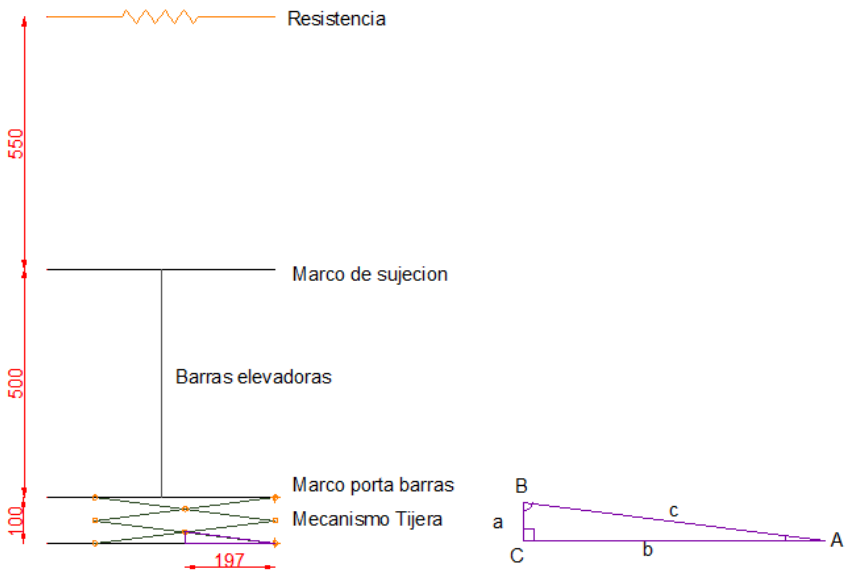
$$Sen\ A = 0.75 \quad \textbf{6. 112}$$

$$A = Sen^{-1}\ 0.75 \quad \textbf{6. 113}$$

$$A = 49.11° \quad \textbf{6. 114}$$

Cuando el sistema esta retraído, esquemáticamente se tiene:

Figura 41. Esquema del mecanismo tijera retraído



Fuente: Autores

Datos:

a= 2.5 cm

c= 19.84 cm

C= 90°

De acuerdo a la ley de Senos:

$$Sen\frac{A}{a} = Sen\frac{C}{c} \quad \textbf{6. 115}$$

$$Sen\ A = a * Sen\frac{C}{c} \quad \textbf{6. 116}$$

$$Sen\ A = 2.5\ cm * Sen\frac{90°}{19.84\ cm} \quad \textbf{6. 117}$$

$$Sen\ A = 0.12 \quad \textbf{6. 118}$$

$$A = Sen^{-1}\ 0.12 \quad \textbf{6. 119}$$

$$A = 7.23° \quad \textbf{6. 120}$$

El desplazamiento horizontal de los apoyos móviles cuando el sistema esta retraído, se calcula usando ley de Cosenos:

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac\ Cos\ BF\ = P_{aire} * Area\ pistón \quad \textbf{6. 121}$$

$$Donde \qquad B = 180° - A - 90° \quad \textbf{6. 122}$$

$$B = 82.77° \quad \textbf{6. 123}$$

$$b^2 = (2.5\ cm)^2 + (19.84\ cm)^2 - 2 * (2.5\ cm) * (19.84\ cm)\ Cos\ 82.77° \quad \textbf{6. 124}$$

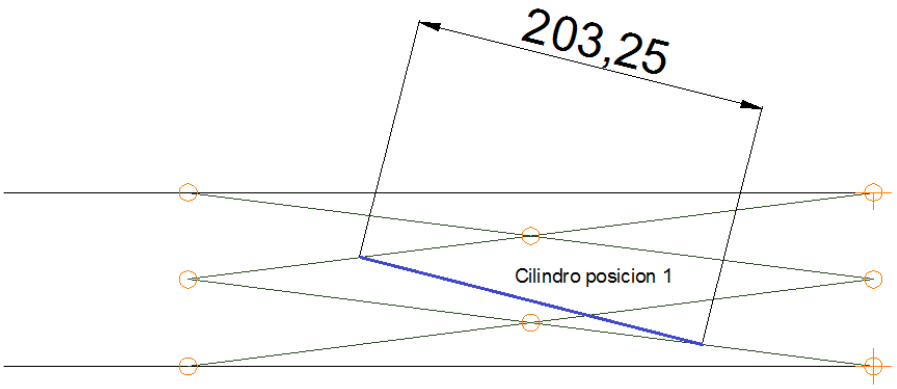
$$b = 19.7\ cm \quad \textbf{6. 125}$$

Entonces, el desplazamiento total es dos veces la longitud “b”:

$$2b = 39.4\ cm \quad \textbf{6. 126}$$

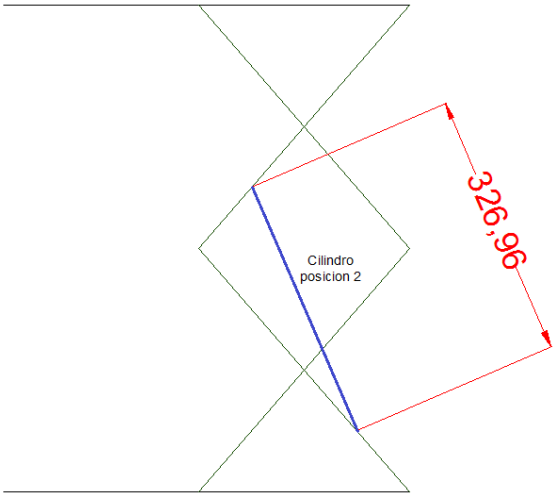
Los esquemas del mecanismo tijera en posición de retracción y en posición extendido, nos facilitan el trazo de una línea recta en los puntos de apoyo del cilindro con el fin de determinar la carrera de este:

Figura 42. Ubicación del cilindro en la posición de retracción



Fuente: Autores

Figura 43. Ubicación del cilindro en posición de extensión



Fuente: Autores

La carrera del cilindro se determina efectuando la diferencia entre las dos posiciones, así:

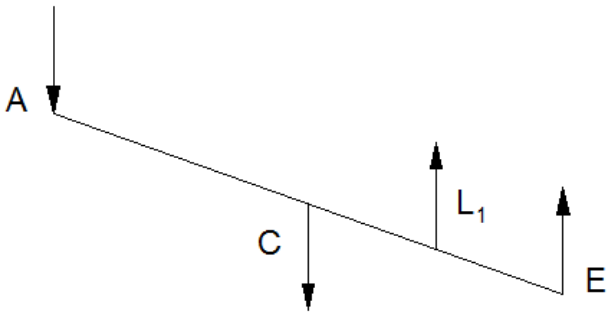
$$Carrera\ del\ cilindro = Posición\ 2 - posición\ 1 \quad \textbf{6. 127}$$

$$Carrera\ del\ cilindro = 326.96\ mm - 203.25\ mm \quad \textbf{6. 128}$$

$$Carrera\ del\ cilindro = 123.71\ mm \quad \textbf{6. 129}$$

La fuerza del cilindro está en función del diámetro de la camisa. Para la selección del diámetro adecuado, se debe realizar un análisis de cargas en todo el mecanismo de tijera:

Figura 44. Diagrama de cuerpo libre de la barra ACE



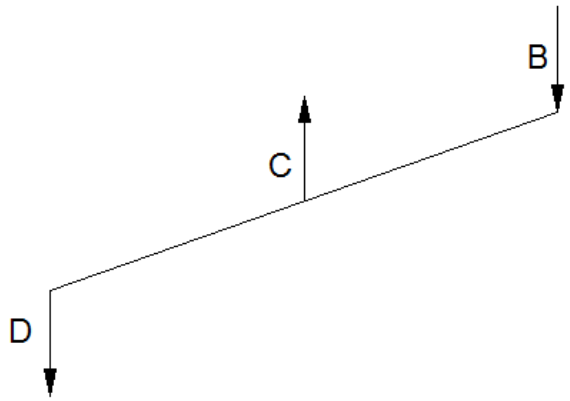
Fuente: Autores.

$$\sum Fx = 0 \quad \textbf{6. 130}$$

$$\sum Fy = -25.38N + Cy - Ly + Ey \quad \textbf{6. 131}$$

$$\sum M_E = (25.38N * 0.394m) - (Cy * 0.197m) + (L_1 y * 0.098m) = 0 \quad \textbf{6. 132}$$

Figura 45. Diagrama de cuerpo libre de la barra DCB



Fuente: Autores.

$$\sum Fx = 0 \quad \textbf{6. 133}$$

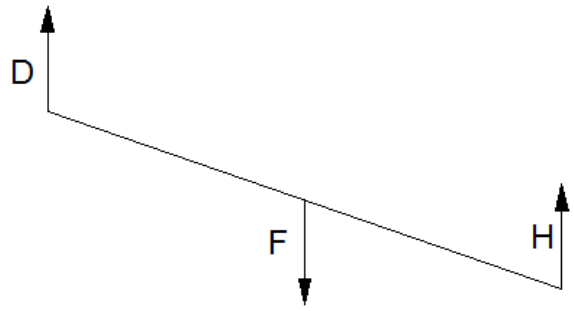
$$\sum Fy = -14.62N - Cy + Dy = 0 \quad \textbf{6. 134}$$

$$\sum M_D = (-Cy * 0.197m) - (14.62N * 0.394m) = 0 \quad \textbf{6. 135}$$

$$Cy = \frac{-5.76Nm}{0.197m} = -29.23N \quad \textbf{6. 136}$$

$$Dy = 14.62N + (-29.23) = -14.61N \quad \textbf{6. 137}$$

Figura 46. Diagrama de cuerpo libre de la barra DFH



Fuente: Autores.

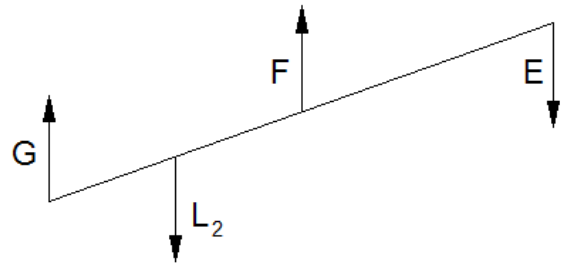
$$\sum Fx = 0 \quad \textbf{6. 138}$$

$$\sum Fy = Dy - Fy + Hy = 0 \quad \textbf{6. 139}$$

$$14.61N - Fy + 14.62N = 0 \quad \textbf{6. 140}$$

$$Fy = 29.23N \quad \textbf{6. 141}$$

Figura 47. Diagrama de cuerpo libre de la barra GFE



Fuente: Autores.

$$\sum Fx = 0 \quad \textbf{6. 142}$$

$$\sum Fy = Gy + L_2y + Fy - Ey = 0 \quad \textbf{6. 143}$$

$$\sum M_E = -(29.23N * 0.197m) - (L_2y * 0.295m) - (25.38N * 0.394) = 0 \quad \textbf{6. 144}$$

$$L_2y = \frac{-5.75Nm - 9.99Nm}{0.394m} \quad \textbf{6. 145}$$

$$L_2y = -39.94N \quad \textbf{6. 146}$$

$$Ey = Gy + L_2y + Fy \quad \textbf{6. 147}$$

$$Ey = 25.38N + (-39.94N) + 29.23N = 14.67N \quad \textbf{6. 148}$$

Retomando ecuaciones de barra ACE:

$$-25.38N + Cy - L_1y + Ey = 0 \quad \textbf{6. 149}$$

$$L_1y = 14.67N + 29.23N - 25.38N = 18.52N \quad \textbf{6. 150}$$

Tabla 16. Cargas en los apoyos

Ay	-25.38N	Fy	-29.23N
By	-14.62N	Gy	25.38N
Cy	29.23N	Hy	14.62N
Dy	-14.61N	L_1Y	18.52N
Ey	-14.67N	L_2Y	-39.94N

Fuente: Autores.

Fuerza que debe vencer el cilindro:

$$Fc = L_1A - L_2A \quad \textbf{6. 151}$$

$$L_1A = \frac{L_1}{cos76°} \quad \textbf{6. 152}$$

Dónde:

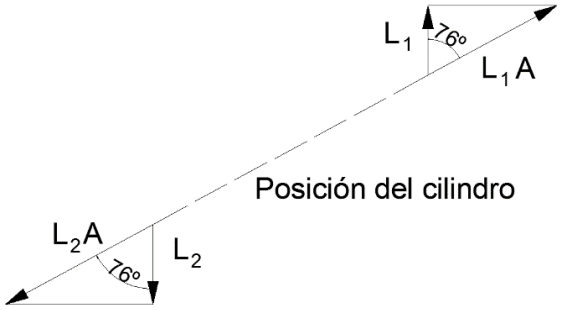
$$L_1A = \frac{18.52N}{cos76°} = 76.55N \quad \textbf{6. 153}$$

$$L_2A = \frac{L_2}{cos76°} \quad \textbf{6. 154}$$

$$L_2A = \frac{-39.94N}{cos76°} = -165.09N \quad \textbf{6. 155}$$

$$Fc = 76.55N - (-165.09N) = 241.64N \quad \textbf{6. 156}$$

Figura 48. Cargas en el cilindro



Fuente: Autores.

Diámetro del cilindro:

$$A = \frac{F}{P} \quad \textbf{6. 157}$$

Presión de trabajo= 413685.43Pa

$$A = \frac{241.64N}{413685.43Pa} = 5.84 * 10^{-4}m^2 \quad \textbf{6. 158}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad \textbf{6. 159}$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad \textbf{6. 160}$$

$$D = \sqrt{\frac{4(5.84 * 10^{-4}m^2)}{\pi}} = 0.027m = 27mm \quad \textbf{6. 161}$$

El cilindro más cercano que se obtiene comercialmente es de 32mm

6.5.1.5. Diseño del sistema de control:

Este sistema será el encargado de alimentar y comunicar todos los elementos de la máquina para que pueda cumplir su función principal. Está conformado por elementos como los interruptores, bornes, bobinas de las electroválvulas, contactores, cables, “módulo pirómetro”, sensor óptico y uno de los más

relevantes es la resistencia eléctrica, la cual prevalece en cuanto al consumo eléctrico máximo que puede representar respecto a los demás elementos.

Se diseñó un diagrama eléctrico que después fue simulado en el software Fluidsim con el cual se pueda manipular el equipo y ejecutar las posiciones básicas de poner la lámina plástica, calentarla, llevarla hasta el molde y finalmente sacarla con la forma deseada.

Para conseguir este objetivo, se determinaron los consumos eléctricos y características de voltaje y de trabajo de todos los elementos para elegir los componentes del circuito.

El software de Festo presenta algunas limitaciones en cuanto a las herramientas que tiene ya que carece de muchos elementos eléctricos y electrónicos que no permite plasmar el circuito diseñado y con los elementos deseados. El caso particular, es el del sensor cuya función es representada por un interruptor en el diagrama elaborado; y el del pirómetro, que regula la temperatura de la resistencia.

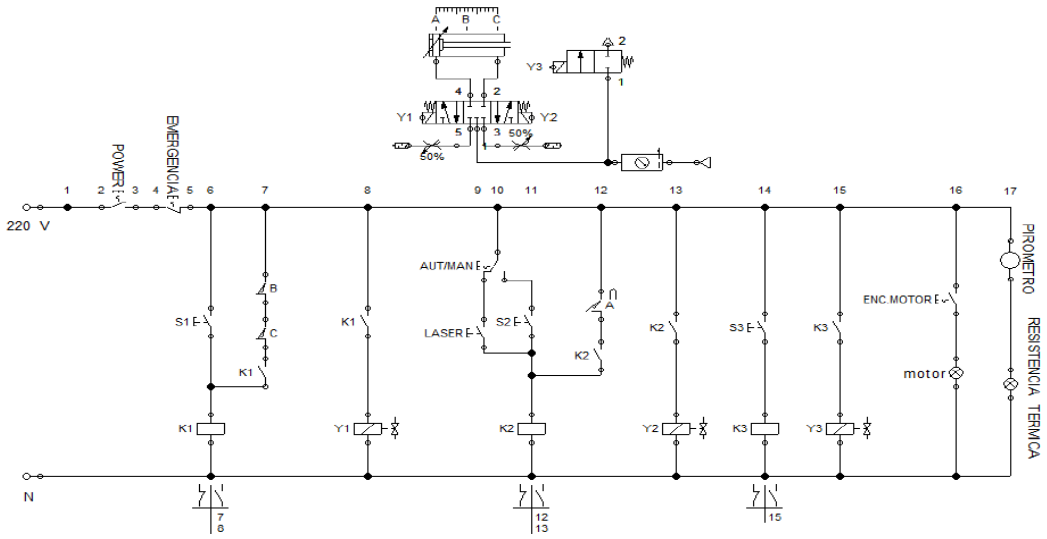
Figura 49. Derecha: sensor, izquierda: controlador de temperatura



FUENTE: http://autonics.com.mx/index.php

Esquemáticamente se tiene:

Figura 50. Diagrama del sistema de control



Fuente: Autores.

El esquema eléctrico anterior está compuesto por los siguientes elementos:

- Interruptor POWER
- Interruptor EMERGENCY tipo Hongo.
- Interruptor S1, S2 y S2
- Contactores K1, K2 y K3
- Finales de carrera A,B y C
- Bobinas Y1, Y2 y Y3 de las válvulas 5/3 y 2/2
- Interruptor (conmutador) AUT/MAN
- Laser (sensor)
- Interruptor ENC. MOTOR
- Controlador de temperatura (Pirómetro)

Estos elementos fueron seleccionados según catálogo de productos que se consiguen fácilmente en el mercado, en marcas reconocidas y con las especificaciones técnicas que cumplen con nuestros requerimientos. *ver anexo I.*

7. EVALUACIÓN ECONÓMICA

El proyecto de calcular y diseñar una maquina termoformadora didáctica para el laboratorio de materiales de ingeniería de la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas se evalúa económicamente comparando el costo que tendría su fabricación con el costo de una adquirida con un fabricante o importador local. También se evalúa por medio de algunos indicadores planteados a partir de las intenciones que se pretenden con dicho dispositivo y la comunidad estudiantil, con el fin sustentar un retorno que en este caso no es económico, sino educativo.

7.1. COSTO DEL PROYECTO

El costo del proyecto integra los costos reales y los costos estimados. Los primeros son aquellos que por medio de una cotización o factura de venta se pueden sustentar, a diferencia de los costos estimados.

En la siguiente tabla, se discriminan los valores de los elementos que se requieren para la construcción de la maquina termoformadora, sin incluir el IVA, y también los valores estimados de las horas/hombre necesarias. Dichos valores, se obtienen a través de cotizaciones solicitadas en almacenes especializados visitados con anterioridad.

Tabla 17. Costos del proyecto

Costos del sistema de calentamiento.			
Material	Cantidad	Vr. Unit.	Total
Resistencia eléctrica tubular INCOLOY 7/16 X 2m	2	$45.000	$90.000
Aislamiento FIBERGLASS 0.61x1m espesor 2 ½”	1	$55.000	$55.000
		Total	$145.000
Costos directos del sistema estructural.			
Material	Cantidad	Vr. Unit.	Total
Perfil de aluminio cuadrado con doble aleta de 1 ½”	18 m	$5.330	$96.000
Perfil de aluminio cuadrado de 1 ½”	6 m	$3.000	$18.000
Lámina perforada de aluminio crudo 3x9 (3B) Medidas: 42 cm x 42 cm x 1mm de espesor	1 un.	$80.000	$80.000
Lámina lisa de aluminio espesor 1/8" 70cm*70cm	3 un.	$40.000	$120.000
Lámina lisa de aluminio espesor 1/8" 63cm*63cm	1 un.	$40.000	$40.000
Platina de aluminio de 1" x 1/8"	6 m	$2.666	$16.000
Platina de aluminio de 1" x 3/16"	6 m	$2.666	$16.000
Perfil en ángulo de aluminio 1"*1/8"	6 m	$4.000	$24.000
Adhesivo estructural loctite 330*250ml+ activador 738	1 un.	$70.000	$70.000
Adhesivo estructural loctite 460*20gr+ activador 738	2 un.	$30.000	$60.000
Lámina galvanizada 120cm*120cm cal. 20	1 un.	$100.000	$100.000
Lámina acrílica 120cm*180cm*3mm	1 un.	$180.000	$180.000

Fuente: Autores

Tabla 17. Costos del proyecto (continuación)

Porsas de 1 1/2 cuadradas para esquinas	8 un.	$3.000	$24.000
Rueda de goma fija de 3". Cap. 55 kg	2 un.	$12.500	$25.000
Rueda de goma móvil de 3" con freno. Cap. 55 kg	2 un.	$12.500	$25.000
Lámina board (fibrocemento)1,20*1,20m 10mm de espesor	1 un.	$40.000	$40.000
		Total	$934.000
Costos del sistema de formado.			
Material	Cantidad	Vr. Unit.	Total
Motor by pass de 2 etapas 1300w para aspiradora ind.	1	$230.000	$230.000
Molde en resina	2	$80.000	$80.000
		Total	$310.000
Costos del sistema motriz del desplazamiento de la lámina.			
Material	Cantidad	Vr. Unit.	Total
Cilindro de doble efecto Ø 32mm / carrera 125mm	1	$171.785	$171.785
Válvula 5/3 doble solenoide centros cerrados 1/8 220V	1	$357.068	$357.068
Válvula 2/2 220V con solenoide 1/8	1	$113.612	$113.612
Filtro regulador y lubricador 1/8	1	$149.212	$149.212
Regulador de escape de aire 1/8	2	$25.726	$51.452
Conector recto 1/8-6mm	10	$3.763	$37.630
Manguera poliuretano Ø6mm	8	$1.819	$14.552
Horquilla para vástago	1	$15.184	$15.184
Rotula para vástago	1	$134.555	$134.555
		Total	$1.045.050
Costos del sistema de control.			
Material	Cantidad	Vr. Unit.	Total
Controlador de temperatura 85-240VAC Marca EBC	1	$116.000	$116.000
Termocupla tipo K	1	$12.900	$12.900
Relé de estado sólido 220VAC	1	$34.500	$34.500
Relé 220VAC 6 amp 4 contactos	3	$7.000	$21.000
Sensor auto réflex BM200DDT	1	$185.000	$185.000
Pulsador	4	$22.000	$88.000
Interruptor on/off	1	$40.000	$40.000
Interruptor de emergencia	1	$45.000	$45.000
Interruptor conmutable	1	$51.000	$51.000
		Total	$593.400
Costos de maquinado y montaje de la máquina termoformadora.			
Material	Cantidad	Vr. Unit.	Total
Mano de obra (horas/hombre)	102	$10.000	$1´020.000
		Total	$1´020.000

Fuente: Autores.

Tabla 18. Costos totales del proyecto

Costos del sistema de calentamiento.	$145.000
Costos directos del sistema estructural.	$934.000
Costos del sistema de formado.	$310.000
Costos del sistema motriz del desplazamiento de la lámina.	$1.045.050
Costos del sistema de control.	$593.400
Costos de maquinado y montaje de la máquina termoformadora.	$1´020.000
Total	$4´047.450

Fuente: Autores.

Si se lleva a cabo un proceso de cotización de un equipo con especificaciones y características semejantes a la termoformadora planteada en este proyecto, con empresas que cumplan todos los requisitos exigidos por ley, el resultado sería un valor comercial que alcanza los $ 9’000.000.

En el evento en el que la universidad decida otorgar los recursos para la construcción del dispositivo, se tendría un ahorro porcentual del 44.9% respecto al valor medio comercial, y con el respaldo que representan las memorias de cálculo y diseño que hacen parte de este proyecto.

7.2. EVALUACIÓN MEDIANTE INDICADORES

Como se mencionó anteriormente, el proyecto carece de un retorno económico que se pueda interpretar directamente. No obstante, se puede percibir una ganancia a partir de los beneficios educativos (práctico-teórico) que puede recibir la comunidad educativa, no solo perteneciente al programa de ingeniería mecánica, sino a la comunidad universitaria como tal, por el hecho de mejorar la infraestructura y por ende la confianza y reconocimiento que adquiere la institución.

Dicha ganancia, se puede representar mejor por medio de la implementación y ejecución de algunos indicadores que satisfagan, entre otras, las siguientes intenciones:

A. Implementar prácticas de laboratorio a materias que las necesiten y que no las tengan.

B. Incursionar con la termoformadora en el plan de estudios de carreras que puedan llegar a requerirla.

C. Comparar porcentualmente el número de estudiantes atendidos actualmente vs el número de estudiantes que se podría a llegar a atender en los laboratorios de materiales de ingeniería.

D. Determinar la satisfacción de los estudiantes de la materia de ingeniería de plásticos frente al desarrollo de la misma.

Para cumplir con algunas de las intenciones mencionadas, se realiza un análisis y se determinan las materias a las cuales podría aportar como herramienta de aprendizaje; la maquina termoformadora y se genera una tabla discriminando el grupo, la intensidad horaria semanal y la cantidad de estudiantes atendidos e inscritos actualmente:

Tabla 19. Asignaturas relacionadas con el proyecto

Materia	Horas x semana promedio	Estudiantes Promedio x semana
MATERIALES INDUSTRIALES	6	55
PROCESOS INDUSTRIALES	5	55
PROCESOS PRODUCTIVOS	4	55
CIENCIA DE MATERIALES	5	40
MATERIALES NO METALICOS	5	40
PROCESOS DE MANUFACTURA	6	40
MANTENIMIENTO MECÁNICO	6	45
NEUMÁTICA E HIDRAULICA	6	40
INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA MECÁNICA	3	55
INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA INDUSTRIAL	3	55
PROCESOS DE FABRICACIÓN	4	55
LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES	3	40
LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DEL CALOR	3	40
LABORATORIO DE INGENIERÍA DE PLÁSTICOS	3	40
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES	3	40
LABORATORIO DE PROCESOS DE MANUFACTURA	3	40
LABORATORIO DE ESTÁTICA Y MECÁNICA DE LOS MATERIALES	3	40
LABORATORIO DE PROCESOS PRODUCTIVOS	3	40
AUTOMATIZACIÓN	4	55

Fuente: Autores.

Los indicadores que se pueden establecer con la información de la tabla, y que cumplen con la intención, según corresponde:

A. Implementar prácticas de laboratorio a materias de ingeniería mecánica que las necesiten y que no las tengan.

   INDICADOR: Implementación de prácticas de laboratorio

   DESCRIPCION: Determinar porcentualmente el número de materias de Ing. Mecánica que tienen laboratorio respecto al total de materias seleccionadas que según criterio, deberían tenerlo.

   FORMULA: $$\frac{\#\ \text{Materias de ing. mecanica que tienen laboratorio}}{\#\ Materias\ de\ ing.\ mecanica\ \text{sin}\ laboratorio} * 100$$

B. Incursionar con la termoformadora en el plan de estudios de carreras que puedan llegar a requerirla.

   INDICADOR: Incursión de la termoformadora en materias ajenas a la Ing. Mecánica.

   DESCRIPCION: Determinar el porcentaje de Materias que no pertenecen al programa de Ingeniería mecánica, que pueden llegar a beneficiarse de la máquina de termoformado.

   FORMULA: $$\frac{\#\ \text{Materias ajenas a ing. mecanica que podrian usar la maquina}}{\#\ Materias\ ajenas\ a\ ing.\ mecanica} * 100$$

C. Comparar porcentualmente el número de estudiantes atendidos actualmente vs el número de estudiantes que se podría a llegar a atender en los laboratorios de materiales de ingeniería.

   INDICADOR: Alumnos atendidos en laboratorios de Ingeniería Mecánica.

   DESCRIPCION: Determinar el porcentaje de alumnos que son atendidos actualmente en los laboratorios de ingeniería mecánica, con el fin de evaluar la posibilidad de aumentar dicha demanda.

   FORMULA: $$\frac{\#\ \text{Estudiantes atendidos actualmente en laboratorios de ing. mecanica}}{\#\ Estudiantes\ que\ podrian\ ser\ atendidos} * 100$$

La implementación de los indicadores propuestos, mostraran los resultados que se deben evaluar, una vez construida la máquina de termoformado. Así mismo, se podrían generar otros que permitan estudiar otras variables con el fin de mejorar la gestión y cumplir las intenciones propuestas con el presente proyecto.

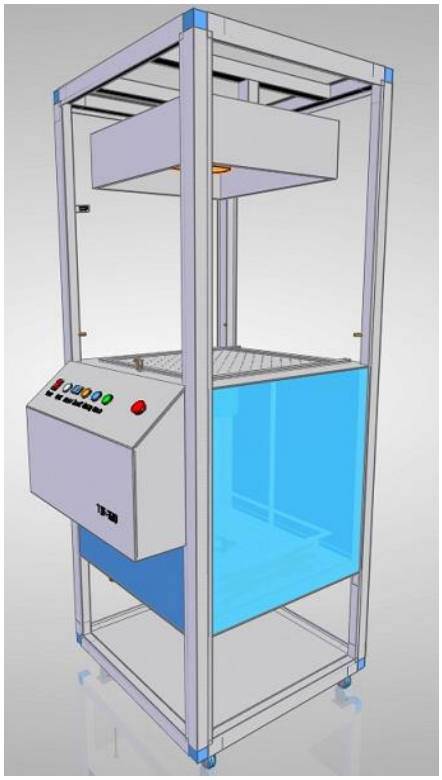
8. SIMULACIÓN DE LA MÁQUINA

Por medio del software Solid Edge, se realiza una simulación del equipo de termoformado, con la intención de apreciar lo que sería éste una vez construido. Este ejercicio se ejecuta teniendo en cuenta los materiales con que va a ser construida, las texturas, los colores y todas las características que tiene el diseño.

A continuación, se describe brevemente el funcionamiento del dispositivo y se sustenta con algunas imágenes para su mejor entendimiento:

- Interruptor POWER: energiza el equipo. Energiza la resistencia.
- Interruptor EMERGENCY: parada total del equipo en caso de emergencia.

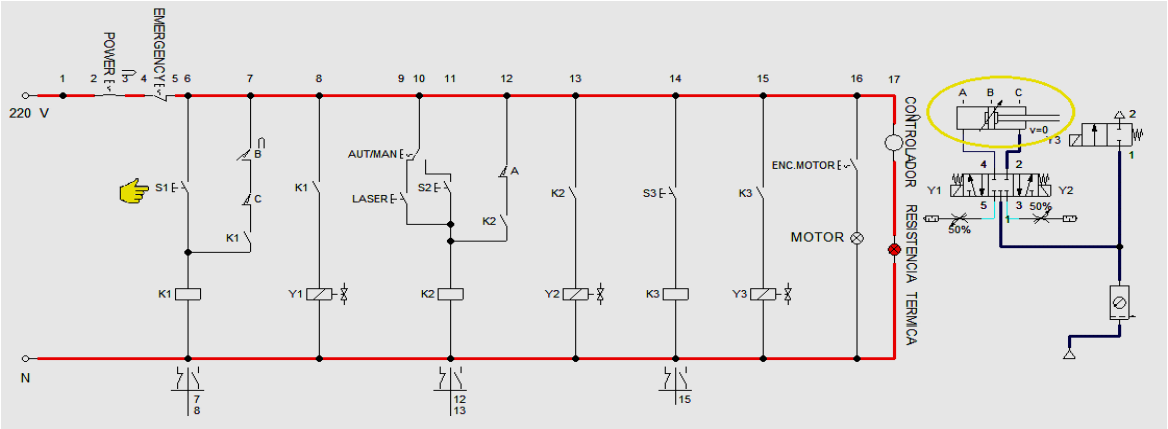
Figura 51. Termoformadora energizada.



Fuente: Autores

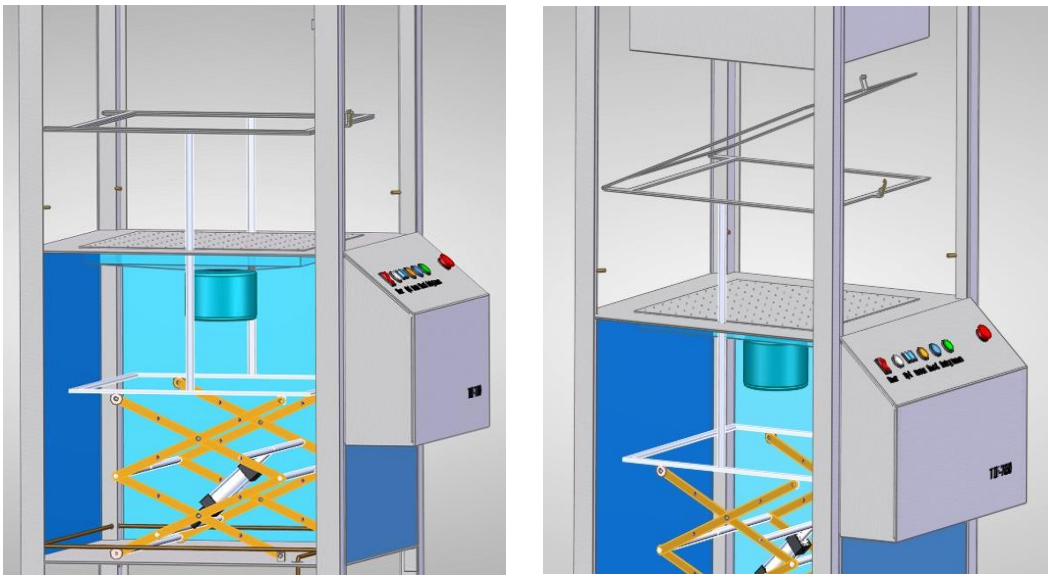
- El interruptor S1 da inicio al ciclo y alimenta al relé K1
- K1 es el relé que alimenta el solenoide Y1 de la válvula 5/3 para hacer ascender al marco hasta la mitad de la trayectoria.
- B y C son los finales de carrera que condicionan la alimentación del relé K1 para darle la posición central al cilindro.

Figura 52: Diagrama electro neumático.



Fuente: Autores

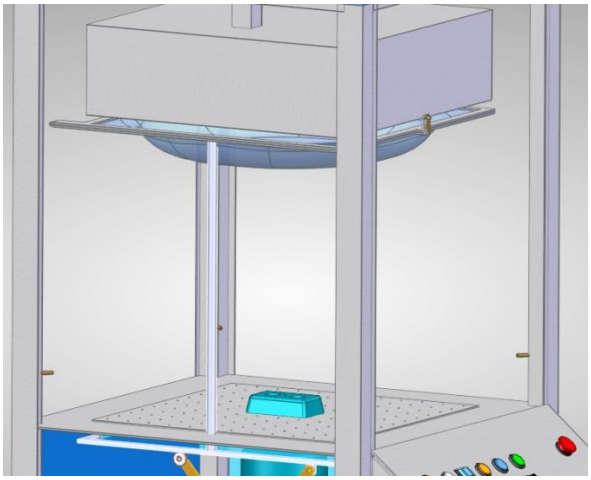
Figura 53. Marco de sujeción en posición inicial.



Fuente: Autores

- Una vez la lámina plástica es ubicada, el sistema sube hasta dejarla cerca a las resistencias eléctricas y empezar el proceso de calentamiento. Se coloca el molde adecuado en la placa perforada.

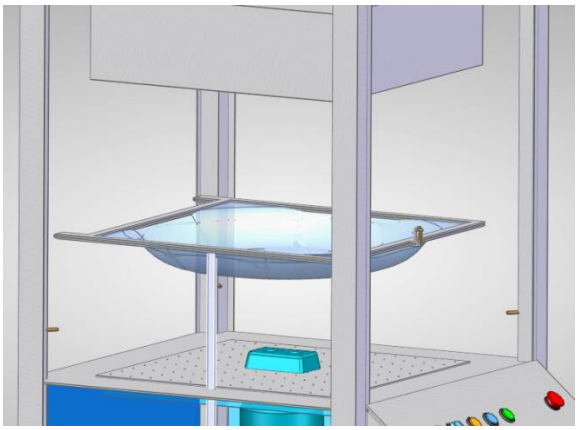
Figura 54. Lámina de polímero reblandecida.



Fuente: Autores

- El interruptor (conmutable) AUT/MAN permite seleccionar un descenso de la lámina caliente automáticamente o a partir del criterio del operario (manualmente).
- Cuando se usa en modo automático el sensor detecta el pandeo de la lámina.
- Cuando se usa en modo manual el interruptor S2 alimenta al relé K2.
- K2 es el relé que alimenta el solenoide Y2 de la válvula 5/3 para hacer descender el marco hasta el molde.

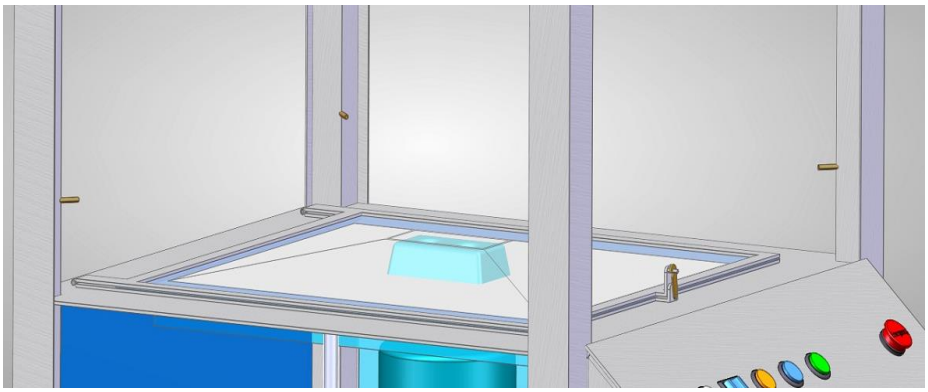
Figura 55. Marco con lámina a punto de adoptar forma del molde.



Fuente: Autores

- “A” es el final de carrera que permite que el cilindro regrese a su posición inicial y por tanto la lámina hace contacto con el molde.

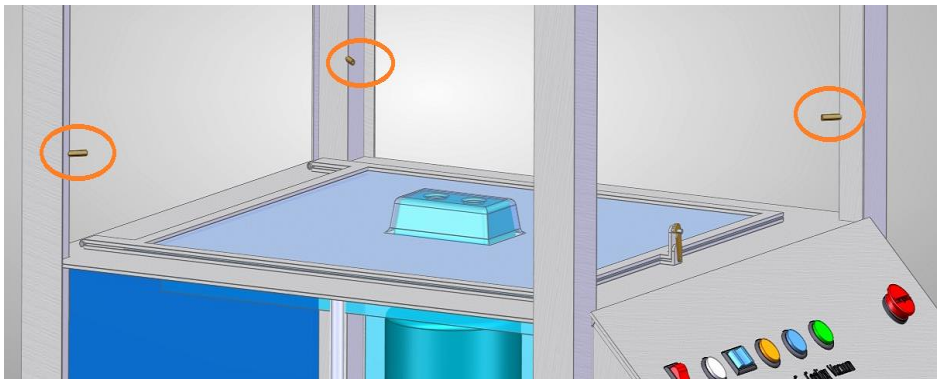
Figura 56. Lamina caliente sobre el molde.



Fuente: Autores

- El interruptor ENC. MOTOR alimenta el motor by pass para ejecutar la succión y perfeccionar el formado de la lámina con el molde. La succión debe funcionar por un tiempo medio de 15 segundos para aprovechar al máximo su efecto sobre la lámina.
- El interruptor S3 energiza a K3 para activar la válvula 2/2 y realizar el enfriamiento de la pieza por medio de chorros de aire que salen por las boquillas ubicadas en los cuatro perfiles verticales de la estructura.

Figura 57. Lámina formada y refrigerada

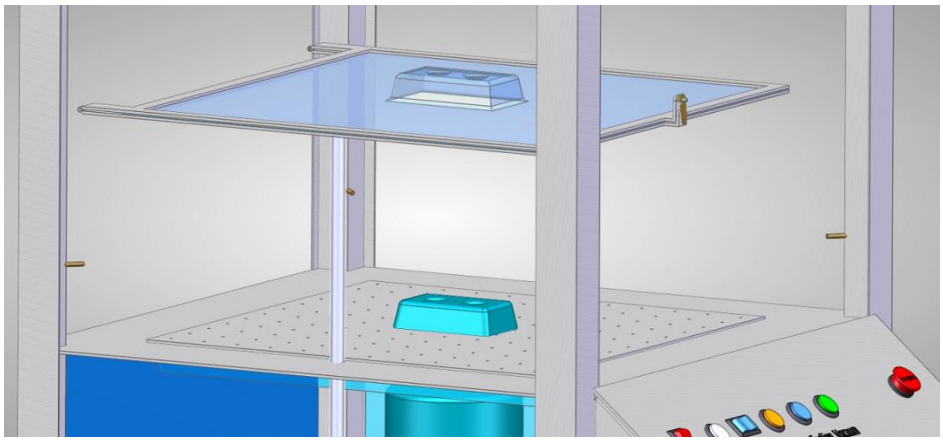


Fuente: Autores

- Se acciona nuevamente el interruptor S1 para ubicar el marco en la mitad y de esta forma se desmolda la pieza. Eventualmente será necesario dar algunos golpes para desmoldar la pieza sobre todo si el molde tiene una geometría compleja.

- Finalmente, se recorta la pieza obtenida y se pulen los filos si se requiere.

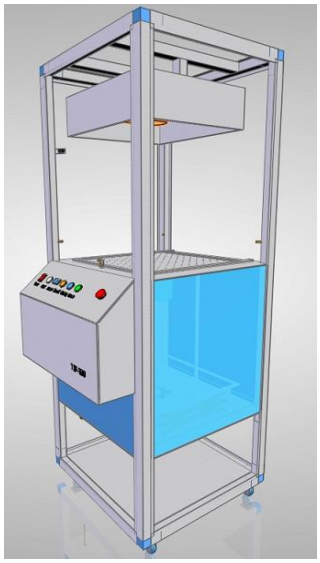
Figura 58. Producto final, listo para recortar.



Fuente: Autores

9. MANUAL DE USUARIO

TERMOFORMADORA UD DDH 76-50



El presente manual es un compendio de instrucciones, sugerencias e información importante la cual debe ser leída antes de la operación de la máquina para guardar la integridad física del operario.

ANTES DE USAR LA TERMOFORMADORA…

- Cerciórese de contar con los elementos de protección adecuados para la manipulación de equipo de trabajo.
- Lea detenidamente todas las instrucciones antes de usar la máquina.
- No cambie, modifique ni use adaptadores en el cable de alimentación eléctrica.
- No cambie, modifique ni altere la manguera de alimentación de aire comprimido.

9.1. INSTRUCCIONES DE USO

✓ Coloque la maquina termoformadora en una superficie lisa y nivelada, cerca de una toma de alimentación eléctrica y un punto de aire comprimido. Asegure el freno de las ruedas delanteras, para garantizar la firmeza del equipo.

✓ Conecte el cable al toma corriente y la manguera de acople rápido al punto de aire comprimido. Accione el botón ON y asegúrese de que el dispositivo de control de temperatura se enciende.
✓ La máquina estará lista para trabajar en aproximadamente 3 minutos después de energizada. Pasado este tiempo, pulse el botón START, para que el sistema motriz se ponga en posición inicial o posición de ubicación de lámina plástica.
✓ Abra el marco sujetador y ubique la lámina que desea termoformar cerciorándose de que esta quede bien centrada. Cierre el marco y asegúrelo con el mecanismo de sujeción.
✓ Ubique un molde apropiado sobre la lámina perforada o banco de succión y pulse nuevamente el botón START. El sistema motriz llevara la lámina a la parte alta, cercana a las resistencias de calentamiento. Una vez la lámina empiece a pandearse, un sistema de sensor estará listo para llevarla hasta el molde cuando este lo suficientemente blanda y pueda ser formada.
✓ Observe el proceso de la lámina sobre el molde y pasados 5 segundos pulse el botón VACUUM para que el motor by pass empiece a operar y déjelo encendido durante unos 15 segundos.
✓ Apague el sistema de succión y accione el botón COOLING, para que las boquillas envíen un chorro de aire frio y comprimido sobre la lámina ya formada. Haga esta maniobra las veces que usted considere necesario.
✓ Abra el marco de sujeción y retire la lámina. Si el molde se queda adherido, pruebe dando algunos golpes suaves para desmoldar y tome como medida aplicar alguna silicona antiadherente para un próximo termoformado.
✓ Para finalizar el trabajo, use unas tijeras para retirar el exceso de material y redondear las puntas si se requiere. Puede usar una lima para eliminar filos si lo desea.

9.2. SÍMBOLOS E IDENTIFICACIONES:

9.2.1. Advertencias:

 Se encuentran tres tipos de acuerdo a su nivel de alerta:

- Peligro: indica el riesgo de lesiones graves o incluso la muerte en el caso de incurrir en omisión a dicha advertencia.
- Advertencia: Indica una posibilidad de incurrir en un peligro, riesgo de lesiones graves e incluso la muerte.
- Precaución: Advierte la posibilidad de una situación accidentada.

9.2.2. Otros símbolos:

	Este símbolo muestra y denota información importante.
	Información importante para el cuidado y protección del medio ambiente.
	Alerta de presencia de cargas eléctricas.
	Superficies calientes.

9.3. SEGURIDAD INDUSTRIAL

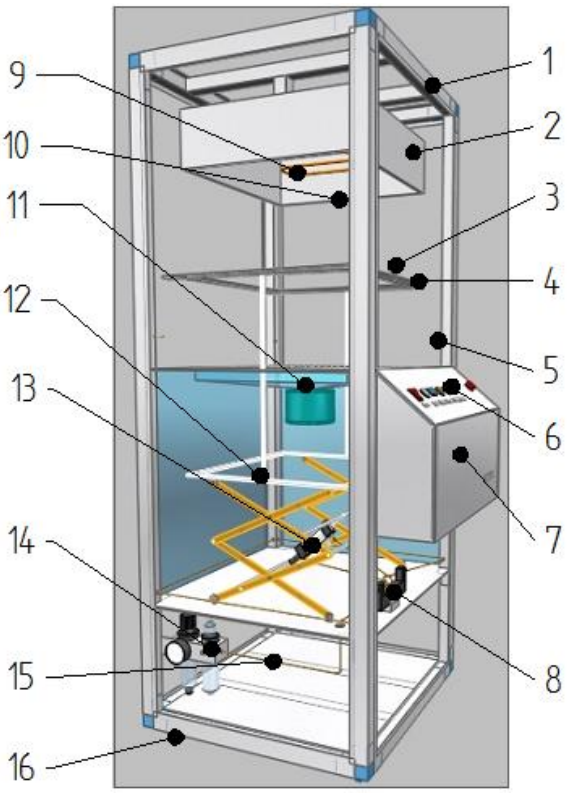
El operario debe presentar los siguientes elementos de seguridad industrial:

- Guantes
- Bata u overol
- Gafas
- Tapabocas

 Advertencia: El operario debe operar el equipo sin anillos ni manillas. De tener el cabello largo, este se debe recoger.

9.4. IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL EQUIPO:

El operario debe leer cuidadosamente e identificar en la totalidad los elementos que componen el equipo.



1	Sistema estructural
2	Sistema térmico
3	Marco porta lámina
4	Seguro del marco
5	Sistema de refrigeración
6	Botones de control
7	Panel de control
8	Válvulas de control
9	Resistencia térmica
10	Sensor
11	Sistema de Vacío
12	Sistema elevador
13	Cilindro neumático
14	Unidad de mantenimiento
15	Mangueras para el aire
16	Ruedas

9.5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

ALIMENTACIÓN: 220 VAC / 60 Hz

POTENCIA: 5640 W

CONSUMO: 25.6 A

PRESIÓN AIRE: 60Psi (min) 120Psi (máx.)

DIMENSIONES: Alto: 1.80m Ancho: 0.70m Profundidad: 0.70m

PESO: 55 Kg

MOTOR: By Pass

ALIMENTACIÓN: 220 VAC / 60Hz

POTENCIA: 1300 W

CONSUMO: 6 A

VELOCIDAD: 3600 rpm

RESISTENCIA: Tubular Incoloy blindada

ALIMENTACIÓN: 220 VAC / 60Hz

POTENCIA: 4340 W

CONSUMO: 19.72 A

9.6. MANTENIMIENTO

Dentro del programa de mantenimiento, se deben realizar rutinas preventivas con el fin de prolongar la vida útil del dispositivo y evitar paradas inesperadas que conlleven a una acción correctiva y por ende a una reducción en las horas de operación del mismo.

Dichas rutinas preventivas, se pueden realizar en lapsos cortos de tiempo y con una frecuencia de cuatro (4) meses sin dejar de lado la respectiva inspección visual diaria que se debe ejecutar para garantizar la funcionalidad y seguridad del sistema.

9.6.1. Inspección del sistema estructural:

La estructura debe ser revisada en busca de fisuras, dobleces y anomalías que puedan generar riesgo al operario así como también deben revisarse las uniones con adhesivo y con tornillo para garantizar que están en buenas condiciones Se sugiere realizar limpieza general con una tela suave, usando silicona o limpiadores a base de agua, en toda la perfilaría de aluminio, paneles acrílicos y tablero de control.



Precaución: El chasis de la máquina no debe ser perforado, doblado o modificado.

9.6.1.1. Ruedas

Las ruedas de la maquina cuentan con rodamientos sellados y lubricados de por vida. Sin embargo, es recomendable efectuar limpieza general en ellas para eliminar polvo que a futuro generen desgaste en los ejes y piezas en contacto.



Las ruedas están dispuestas en el equipo para soportar su carga máxima y si esta es superada se puede acortar la vida útil del elemento o provocar un

accidente.

9.6.2. Inspección del circuito eléctrico:

Efectúe la revisión visual de todas las conexiones eléctricas. Los cables deben estar en perfectas condiciones, así como el ajuste en todos los bornes para evitar calentamiento en la red de cableado. Aplique limpiacontactos en las partes más expuestas al ambiente, las veces que usted considere necesario.

Una vez realizada esta tarea, use un multímetro o una pinza voltiamperimetrica para tomar medidas de continuidad, voltaje y amperaje, con el fin de garantizar el consumo normal de energía y que los cables no están aislados.



Asegúrese de que la maquina se encuentra desconectada para realizar las revisiones de cables y el ajuste en las borneras.



El equipo debe ser alimentado con una tensión de 220 V para su óptimo trabajo y no debe presentar cortes ni aplastamiento.

9.6.3. Inspección del sistema de formado:

Se debe realizar limpieza y mantenimiento preventivo ya que es el sistema más crítico de la máquina. Lubrique los ejes y las ruedas del sistema de tijera con aerosol WD40 y verifique su correcto funcionamiento.

La máquina cuenta con un circuito neumático cuya unidad de mantenimiento debe estar en perfectas condiciones para garantizar la lubricación de las válvulas y el cilindro. Revise y si es necesario ajuste el nivel de aceite en dicha unidad. Asegúrese de realizar la purga de condensados cuando el nivel lo indique aflojando la válvula en la parte baja del recipiente.

Haga una revisión anual del cilindro con el fin de evaluar el estado de los empaques y demás componentes de este.



La presión de aire debe estar entre 60 y 120 psi, de lo contrario se puede presentar averías en el sistema neumático causando riesgo de lesiones graves en el operario.

Hacen parte del sistema de formado el marco de sujeción, la caja de vacío y el motor by pass. El marco de sujeción cuenta con partes móviles que también deben ser lubricadas. Realice una revisión general en las barras y los bujes que sostienen dicho marco para garantizar que estén derechos y que no tengan fricción excesiva.

La caja de vacío debe estar correctamente sellada. Revise que la unión entre las láminas que conforman la caja esté bien y que exista un sello interno de silicona para evitar fugas. Limpie periódicamente la placa perforada para evitar suciedad en los agujeros que perjudiquen el mal funcionamiento del sistema.



El sistema de vacío no debe presentar fugas. No se debe golpear.

9.6.3.1. Motor By pass

Revise que el motor este bien asegurado y que no presenta fallas de funcionamiento. Se debe realizar mantenimiento preventivo cada 2 años en cuanto a:

- Cambio de escobillas.
- Cambio de pareja de rodamientos.



Asegúrese de realizar un adecuado montaje de rodamientos y de no golpear el eje, para garantizar el balanceo dinámico del mismo.

9.6.4. Inspección del sistema térmico:

La caja aislada y la resistencia eléctrica deben ser revisadas periódicamente para evitar deterioro y garantizar su buen funcionamiento. Ejecute labores de limpieza para eliminar agentes extraños dentro y fuera del sistema.

Revise el set point del controlador y limpie el display con una tela suave. Verifique su funcionamiento.



Precaución: el sistema térmico presenta superficies con altas temperaturas. El contacto directo con estas puede ocasionar el riesgo de quemaduras graves.

9.7. CONDICIONES AMBIENTALES DE FUNCIONAMIENTO:

Para evitar deterioro temprano en los elementos de la máquina, esta debe encontrarse en un ambiente libre de humedad excesiva y en una atmosfera libre de agentes corrosivos.

- La temperatura ambiental de trabajo del equipo puede oscilar entre (5-40) ºC
- La presión atmosférica de trabajo del equipo puede oscilar entre (550-760) mmHg
- La humedad relativa de trabajo del equipo puede oscilar entre (30-70) %

10. CONCLUSIONES

Se logra realizar una consulta extensa, haciendo uso de diferentes fuentes tanto primarias como secundarias, acerca de los antecedentes y en general de todo lo referente al procesamiento del plástico, tipos y naturaleza de los mismos. Esta información se organizó, se filtró y finalmente se seleccionó, dejando como prioridad el tema del termoformado cuyo principio, características y posible adaptación a la vida académica de la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, es el tema principal de este trabajo. Toda vez terminada la etapa de consulta, y de acuerdo a un plan de trabajo pactado, se logra documentar de manera eficaz la información obtenida y posteriormente darle un uso racional con el fin de generar un documento que abarque muchos temas de manera clara y fácil de interpretar.

Haciendo uso de todo lo aprendido en nuestro pregrado, actual proceso de formación en la especialización, y algunas otras aptitudes adquiridas por cuenta propia se elaboraron diversos cálculos estructurales, eléctricos, térmicos y mecánicos para obtener una maquina termoformadora didactica acorde a las necesidades actuales de la universidad. Se implementaron estudios de mercado, estudios económicos, métodos de selección de alternativas, esquemas de espina de pescado, matriz de marco lógico, árbol de problemas, árbol de objetivos y toda la estructura de evaluación de proyectos aprendida en este curso en sus diferentes asignaturas.

Simultáneamente, se diseñaron adecuadamente los sistemas mecánicos de la maquina pasando por diversos bosquejos, generando algunos diseños preliminares y evaluando cada uno de ellos para finalmente plasmarlos y simularlos en el software Solid Edge garantizando así su funcionamiento. De igual forma se logró obtener un sistema de calentamiento óptimo para la aplicación requerida, en la que la lámina de plástico debe ser uniformemente calentada para no alterar sus propiedades fisico-quimicas que puedan generar un producto final defectuoso.

Se consiguió diseñar un sistema electro neumático adecuado para el funcionamiento del equipo, teniendo en cuenta elementos normalizados que se encuentran en el mercado local, con las características técnicas necesarias para lograr controlar de forma integral todo el circuito. Dicho sistema se revisó y posteriormente fue probado mediante el uso del software fluidsim de Festo.

En el proceso de implementar un sistema de vacío, se contempló – entre otras - una alternativa de adecuar un tanque con su respectiva bomba para garantizar un vacío

constante sin tener que encender y apagar el motor. Sin embargo, se observó que los costos de dicha adaptación son altos comparados con el que presenta el motor tipo By Pass, cuyas características técnicas se acoplan perfectamente al requerimiento de la termoformadora, sin incurrir en sobredimensionamientos y otorgando una ventaja en cuanto bajos costos de mantenimiento dado el menor número de piezas y la posibilidad de accionar con más frecuencia debido a que está diseñado para tal fin.

Por otra parte, se consiguió realizar una simulación final del funcionamiento de la maquina termoformadora, justificando de esta forma los cálculos y los diseños previos así como también mostrar lo que sería está en la realidad en cuanto a sus dimensiones y apariencia física, usando herramientas a nuestro alcance como lo son Solid Edge y Adobe Flash 7.0

Finalmente, se elaboró un manual de usuario en el que se contemplan los parámetros de funcionamiento, aspectos relacionados a seguridad industrial, las características técnicas, constructivas y todo lo referente al mantenimiento de la termoformadora, en el cual también se facilita la interpretación de las partes de la misma. Dicho manual, se realizó teniendo en cuenta el tipo de trabajo que va a realizar el dispositivo, se adaptó al ámbito académico y por ende garantiza la adecuada y segura manipulación por parte de los operarios.

11. RECOMENDACIONES

En el evento en el que se determine construir la maquina termoformadora, es importante seguir todos los protocolos de seguridad industrial y leer detenidamente el manual de usuario antes de operarla.

Se sugiere que toda persona que manipule el equipo, haya tenido previas instrucciones en el manejo del mismo, así como también debe conocer las medidas de protección para evitar accidentes. Se recomienda acompañamiento de personal idóneo si es la primera vez que maneja el equipo.

Se recomienda al equipo de docentes encargado motivar a los estudiantes a realizar proyectos de reingeniería para aplicarlos a esta máquina, con el fin de adaptarla a una posible línea de producción en serie en el que el plástico sea la materia prima y en la cual no solo se pueda estudiar el termoformado, sino todos los otros procesos de transformación que existen.

La realización de nuevos proyectos en la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, debe ser un punto clave a analizar por parte las directivas y cuerpo de docentes, ya que esto genera nuevos conocimientos en los estudiantes, despertando su interés y curiosidad, ampliando su campo de investigación y generando reconocimiento a la institución.

ANEXOS

Anexo A. Propiedades de los elementos de la máquina según programa.

Nombre archivo	Cantidad	Material	Masa (Cantidad)	Autor
chasis	1		0,000 kg	Daniel Forero
sistema elevador	1		8,292 kg	Daniel Forero
angulo soporte	4	Aluminio, 1060	0,051 kg	Daniel Forero
aislantes	2	Aluminio, 1060	0,143 kg	Daniel Forero
caja	1	Aluminio, 1060	14,217 kg	Daniel Forero
resistencia	1	incoloy	0,936 kg	Daniel Forero
tubo cuadrado sin perforar	2	Aluminio, 1060	0,743 kg	Daniel Forero
lamina inferior	2	Aluminio, 1060	6,332 kg	Daniel Forero
chapa base	1	Aluminio, 1060	3,749 kg	Daniel Forero
chapa tapa	1	Aluminio, 1060	2,445 kg	Daniel Forero
lateral	3	Acrílico, alto impacto	2,641 kg	Daniel Forero
ruedas	4		0,000 kg	Daniel Forero
frontal	1	Acrílico, alto impacto	1,206 kg	Daniel Forero
lateral	4	Aluminio, 1060	4,004 kg	Daniel Forero
porzas	8	Polipropileno, propósito general	1,145 kg	Daniel Forero
lateral corto	8	Aluminio, 1060	3,177 kg	Daniel Forero
angulo soporte	4	Aluminio, 1060	0,051 kg	Daniel Forero
base lamina perforada	1	Aluminio, 1060	2,729 kg	Daniel Forero
tubo cuadrado	2	Aluminio, 1060	0,742 kg	Daniel Forero

Anexo A. Propiedades de los elementos de la máquina según programa. (Continuación)

Nombre archivo	Cantidad	Material	Masa (Cantidad)	Autor
elevador	1	Aluminio, 1060	0,560 kg	Daniel Forero
barras para elevar	2	Acero inoxidable, 303	1,001 kg	Daniel Forero
marco	1		0,618 kg	Daniel Forero
tijera elevador	4	Aluminio, 1060	0,237 kg	Daniel Forero
tornillo1	8	Aluminio, 1060	0,013 kg	Daniel Forero
rueda	4	Silicona	0,008 kg	Daniel Forero
barra transversal	1	Aluminio, 1060	0,170 kg	Daniel Forero
basel	1	Aluminio, 1060	5,254 kg	Daniel Forero
cilindro	1	Aluminio, 1060	0,231 kg	Daniel Forero
bastago	1	Acero inoxidable	0,197 kg	Daniel Forero
tornillo	1	Aluminio, 1060	0,003 kg	Daniel Forero
marco.s2	1	Aluminio, 1060	0,308 kg	Daniel Forero
marco.s22	1	Aluminio, 1060	0,308 kg	Daniel Forero
tornillo.marco2	2	Acero	0,003 kg	Daniel Forero

Anexo B. Fuerzas teóricas para cilindros neumáticos.

F1 = Fuerza en extensión - Newtons

F2 = Fuerza en retracción - Newtons

Diámetro del Cilindro		Presión Bar (Kgf/cm²)								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	F1	5.7	8.5	11.3	14.1	17.0	19.8	22.6	25.5	28.3
	F2	4.2	6.4	8.5	10.6	12.7	14.9	17.0	19.1	21.2
10	F1	15.7	23.6	31.4	39.3	47.1	55.0	62.9	70.7	78.6
	F2	13.2	19.8	26.4	33.0	39.6	46.2	52.8	59.4	66.0
12	F1	23	34	45	57	68	79	91	102	113
	F2	17	25	34	42	51	59	68	76	85
16	F1	40	60	80	101	121	141	161	181	201
	F2	35	52	69	86	104	121	138	156	173
20	F1	63	94	126	157	189	220	251	283	314
	F2	53	79	106	132	158	185	211	238	264
25	F1	98	147	196	246	295	344	393	442	491
	F2	83	124	165	206	248	289	330	371	413
32	F1	161	241	322	402	483	563	644	724	805
	F2	138	207	277	346	415	484	553	622	691
40	F1	251	377	503	629	754	880	1,006	1,131	1,257
	F2	211	317	422	528	634	739	845	950	1,056
50	F1	393	589	786	982	1,179	1,375	1,571	1,768	1,964
	F2	330	495	660	825	990	1,155	1,320	1,485	1,650
63	F1	624	936	1,247	1,559	1,871	2,183	2,495	2,807	3,119
	F2	561	841	1,122	1,402	1,683	1,963	2,243	2,524	2,804
80	F1	1,006	1,509	2,011	2,514	3,017	3,520	4,023	4,526	5,029
	F2	908	1,361	1,815	2,269	2,723	3,176	3,630	4,084	4,538
100	F1	1,571	2,357	3,143	3,929	4,714	5,500	6,286	7,071	7,857
	F2	1,473	2,210	2,946	3,683	4,420	5,156	5,893	6,629	7,366
125	F1	2,455	3,683	4,911	6,138	7,366	8,594	9,821	11,049	12,277
	F2	2,294	3,442	4,589	5,736	6,883	8,031	9,178	10,325	11,472
160	F1	4,021	6,032	8,043	10,053	12,063	14,074	16,085	18,095	20,106
	F2	3,770	5,655	7,540	9,425	11,310	13,195	15,080	16,965	18,850
200	F1	6,280	9,420	12,560	15,700	18,840	21,980	25,120	28,260	31,400
	F2	6,030	9,045	12,060	15,075	18,090	21,905	24,120	27,135	30,150

Anexo C. Métodos más frecuentes de unión con adhesivos.

Adhesivos Instantáneos

Los adhesivos instantáneos proporciona una adhesión superior en una gran variedad de materiales, hasta en aquellos de gran porosidad. Brinda uniones en segundos de gran resistencia y sobre la mayoría de los materiales de ingeniería.
La gran variedad de la línea satisface todo el inmenso campo de utilización de este tipo de adhesivos con el más alto rendimiento.



	401	406	411	414	416
Características	Plásticos difíciles de pegar	Extra rápido	Resistente al impacto	Uso general	Uso general. Alta viscocidad
Color	Transparente	Transparente	Transparente	Transparente	Transparente
Tipo Químico	Etil	Etil	Etil	Etil	Etil
Resistencia al corte [Kg/cm2]	180	150	150	210	210
Viscosidad [cP]	110	20	4050	110	1500
Holgura Máxima [mm]	0,03	0,01	0,1	0,03	0,07
Temp. de Trabajo [°C]	-54 a 82	-54 a 82	-54 a 82	-54 a 82	-54 a 82
Velocidad de curado (fijación - total)	5 seg - 24 hs	3 seg - 24 hs	30 seg - 24 hs	15 seg - 24 hs	30 seg - 24 hs
Primer Recomendado	770	770	770	-	-
Acelerador	7452	7452	7452	7452	7452
Códigos y Presentaciones	20 gr - 282144 100 gr - 268678	20 gr - 283000 100 gr - 268679	20 gr - 135446	20 gr - 624316	20 gr - 245576 100 grs - 268681

Activadores y Aceleradores

Los activadores son productos formulados para permitir una mejor adhesión en materiales de difícil unión.
Los mismos actúan sobre las piezas a unir favoreciendo el curado del adhesivo y reduciendo los tiempos. De esta manera posibilitan aplicaciones ágiles y seguras sobre casi cualquier sustrato.



	770	7387	7452	7471(T)	7649(N)
Características	Eleva la adhesión en ciertos plásticos	Inicia la polimerización de 330 y 315	Acelera el curado de los adhesivos instantáneos	Acelera el curado en adhesivos anaeróbicos	Acelera el curado en adhesivos anaeróbicos
Color	Incoloro	Castaño Claro	Incoloro	Ámbar	Verde
Se utiliza en adhesivos familia	Instantáneos	Acrílicos	Instantáneos	Anaeróbicos	Anaeróbicos
Solvente	-	-	Acetona	Acetona	Acetona
Tiempo de Secado	30 seg.	3 min.	< 30 seg.	1 min.	1 min.
Tiempo de Actuación	8 hs.	2 hs.	1 min.	7 días	30 días
Códigos y Presentaciones	52 ml - 135266	52 ml - 135276	52 ml - 229769	128 grs - 135337	128 gr - 209715

Anexo D. Métodos más frecuentes de unión con adhesivos estructurales.

ADHESION ESTRUCTURAL



Los adhesivos estructurales anaeróbicos, epóxicos y látex de LOCTITE®, son la mejor manera de obtener adhesión de alta resistencia en componentes rígidos. Su uso en conjunto con los activadores apropiados, rellenan holguras de hasta 0.7 mm. Poseen un alto desempeño en la adhesión de metal, vidrio, madera, plásticos y otros materiales, en cualquier combinación.
Aplicables tanto en grandes superficies como en puntos específicos, ofreciendo resistencias a la temperatura, humedad, solventes, aceites, impacto y fatiga. Los adhesivos **estructurales anaeróbicos** LOCTITE®, actúan solamente cuando se juntan las piezas, y se elimina el aire entre ellas, mientras los epóxicos solamente cuando reaccionan entre si resina, catalizador y superficies. Los base silano y látex a temperatura ambiente.



HYSOL® E-00CL

Adhesivo epóxico de dos componentes que cura a temperatura ambiente formando una unión **transparente**, rígida y maquinable. Tiempo de trabajo de 3 a 5 minutos. Cuando endurece, es resistente a solventes y trabaja como un excelente aislante eléctrico.
(Durometría= Shore D 80).
Ideal para propósitos generales de pegado, rellenado y encapsulado.
Trabaja con una variedad de substratos de plásticos, metales, vidrio, hule, madera, cerámica en ensambles rígidos.
Resiste 82ºC.

HYSOL® E-20HP

Adhesivo epóxico de viscosidad media, una vez mezclado cura a temperatura ambiente para formar una adhesión flexible, de color **ambar** resistente para soportar el impacto.
Buen comportamiento con aluminio, metales, plásticos. Tiempo de trabajo 20 a 40 minutos.
Cuando cura totalmente, resisten una amplia gama de químicos y solventes; aislante eléctrico en bobinados, como encapsulante
(Durometría= Shore D 80).
Adhiere plástico, metal, vidrio, madera, cerámica, caucho, y materiales donde la unión requiere flexibilidad .
Resiste 121ºC.



HYSOL® E-40FL

De viscosidad media, una vez mezclado cura a temperatura ambiente para formar una adhesión flexible, color **gris** con la resistencia excelente para soportar el impacto. Tiempo de trabajo 40 a 130 minutos.
Cuando cura totalmente, resisten una amplia gama de químicos, solventes y como aislante eléctrico.
(Durometría= Shore D 75). Adhiere plástico, metal, vidrio, madera, cerámica, caucho, y materiales donde la unión requiere flexibilidad .
Resiste 121ºC.



Loctite® Power Grab®

NUEVO

Adhesivo de fórmula látex sin solvente, bajo olor, para trabajo pesado y fuerza alta de agarre, para reparación y fijación en interiores y exteriores; virtualmente elimina la necesidad de asegurar sin clavos. Color blanco.
Adhesión al instante y es reposicionable durante 15 minutos. Une muchas combinaciones de superficies (una de ellas debe ser porosa) y puede sostener al instante una carga vertical máxima de 20 libras por pie (10g/cm²).
En partes con más peso de carga se requiere sistemas de aseguramiento, mientras cura.
Campo de acción:
- Industria de la construcción.
- Prefabricados (Montaje Drywall / aglomerados)
- Pisos madera, azulejos, cerámicas, plafón, cornizas.
- Vehículos , Taller, Instaladores de tuberías.
- Naval, Electricistas, Agrícola.

LOCTITE® 312™

El producto cura en ausencia de aire entre superficies ajustadas con mínimas holguras; entre las aplicaciones típicas se incluyen la unión de materiales como metales, vidrio o cerámica.
Se recomienda la ayuda del Activador N para mejores y rápidos resultados.

LOCTITE® 330 DEPEND

Adhesivo acrílico de alta velocidad sin mezclas. Actúa sobre una amplia variedad de materiales, desde madera, concreto, acrílico, aluminio, plásticos, acero inoxidable, etc., en procesos de manufactura y necesidades en el mantenimiento industrial. Reemplaza tornillos, clavos, remaches, soldadura y pernos, Requiere para su solidificación el Activador Loctite 738

Terostat® 9220

NUEVO

Adhesivo base Polímero de Silano modificado de alta resistencia con más ventajas que una soldadura por puntos. Ideal para montajes en clips, ductos de circulación de aire, industria naval, refuerzos internos en paneles, tableros de puertas, compartimentos de cabinas, pisos, paneles laterales - techos, etc. Amplio espectro adhesivo en gran variedad de sustratos sin imprimación. Resistencia al envejecimiento, rayos UV, intemperie y agua salada. Temperatura máxima: 100°C - Secado total: 24 horas a 23°C. A mayor temperatura secado más rápido. Color negro.

IDH	PRODUCTO	EMPAQUE	CONTENIDO
135396	Loctite 312	Frasco	50 ml.
1210760	Power Grab	Cartucho	300 ml.
265673	Terostat 9220	Cartucho	310 ml.
230173	Kit. Depend 330 + Activador 7387	Kit	25 ml.
230174	Loctite Depend 330 x 250 ml.	Kit	250 ml.
237096	Hysol E-00CL	Cartucho Dual	50 ml.
237107	Hysol E-20HP	Cartucho Dual	50 ml.
237102	Hysol E-40FL	Cartucho Dual	50 ml.

LOCTITE.

Anexo E. Especificaciones técnicas y dimensionamiento de ruedas de apoyo.

Imsa®
Industrias Metálicas Sudamericanas S.A.
Tecnología en Movimiento

Serie 18
Fija



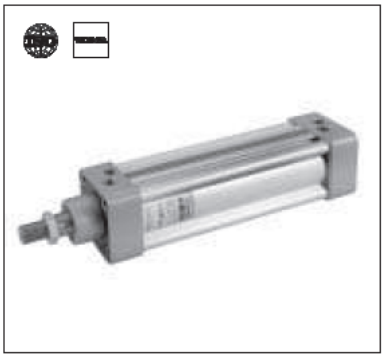
	Diámetro (Pulgadas)	Capacidad de carga (Kilogramos)	Radio de giro (Pulgadas)	Altura efectiva (Pulgadas)	Ancho de banda (Pulgadas)	Sujeciones			
Rod 3 PB 18 A	3	55	N.A	4-3/16	1	1-9/16	2-5/16	2-3/8	3-3/16
Rod 3 PR 18 A	3	75	N.A	4-3/16	1	1-9/16	2-5/16	2-3/8	3-3/16
Rod 3 PU 18 A	3	75	N.A	4-3/16	1	1-9/16	2-5/16	2-3/8	3-3/16

*Medidas nominales

Anexo F. Elementos neumáticos, cilindros.

MiCRO | **Cilindros ISO 15552 VDMA 24562** | Serie CN 10

Tipo	Cilindros neumáticos de simple efecto, doble efecto, con o sin amortiguación, con o sin imán incorporado en el pistón
Normas	**ISO 15552 - VDMA 24562**
Temperatura ambiente	-20...80 °C (-4...176 °F)
Temperatura del fluido	máx. 80 °C (176 °F)
Fluido	Aire comprimido filtrado con o sin lubricación
Presión de trabajo	0,5...10 bar (7,3...145 psi)
Ejecuciones especiales	Alta temperatura (consultar) - Revestimiento anticorrosivo - Vástago de acero inoxidable.
Materiales	Tapas y pistones inyectados en aluminio, vástago de acero SAE 1040 cromado duro, tubo de aluminio perfilado anodizado duro (Ø200 y 250 de aluminio cilíndrico con tensores), sellos de poliuretano (Ø125 a 250 de NBR), guía de pistón de resina acetal (Ø200 y 250 de NBR), guía de vástago de chapa con bronce sinterizado y teflon



Cilindros de doble efecto

	Sin imán Sin amortiguación	Sin imán Doble amortiguación	Con imán Sin amortiguación	Con imán Doble amortiguación
32	0.047.03-.—	0.047.06-.—	0.047.23-.—	0.047.26-.—
40	0.048.03-.—	0.048.06-.—	0.048.23-.—	0.048.26-.—
50	0.049.03-.—	0.049.06-.—	0.049.23-.—	0.049.26-.—
63	0.050.03-.—	0.050.06-.—	0.050.23-.—	0.050.26-.—
80	0.051.03-.—	0.051.06-.—	0.051.23-.—	0.051.26-.—
100	0.052.03-.—	0.052.06-.—	0.052.23-.—	0.052.26-.—
125	0.033.03-.—	0.033.06-.—	0.033.23-.—	0.033.26-.—
160	0.034.03-.—	0.034.06-.—	0.034.23-.—	0.034.26-.—
200		0.035.06-.—		0.035.26-.—
250		0.036.06-.—		0.036.26-.—

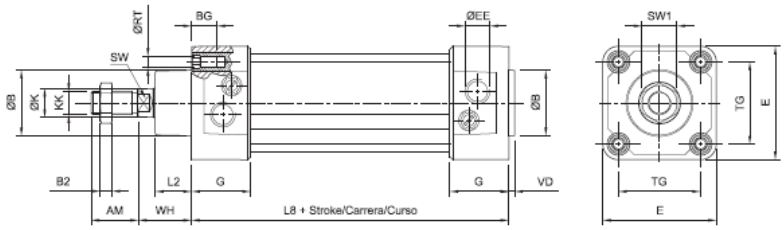
Carreras sin amortiguación	Carreras con doble amortiguación
25,50	80,100,125,160,200
25,50,80	100,125,160,200
50,80	100,125,160,200
50,80	100,125,160,200
50,80	100,125,160,200
	100,125,160,200
	100,200
	100,200

Al ordenar, reemplazar los guiones de los códigos por el valor de la carrera expresado en mm, con ceros a la izquierda si fuera menor de cuatro dígitos. Ej.: un cilindro 0.047.03 -.- - - con carrera 50 mm, debe solicitarse 0.047.030.050.
Las carreras standard de la tabla corresponden a la serie preferencial de norma ISO 4393 y se encuentran en stock en las ejecuciones allí mencionadas. No obstante también pueden proveerse cilindros con otras carreras a pedido, hasta un máximo de 2000 mm.

Secciones de tubo utilizados



Ø32...Ø100 *Ø125...Ø160* *Ø200...Ø250*



Ø	AM	ØB	BG	B_2	ØEE	E	G	ØK	ØKK	L_2	L_8	ØRT	SW	SW_1	TG	VD	WH
32	22	30	17,5	5	G 1/8"	48	29	12	M 10 x 1,25	18	94	M6 x 1	10	16	32,5	4	26
40	24	35	17,5	6	G 1/4"	55	32,5	16	M 12 x 1,25	20	105	M6 x 1	13	18	38	4	30
50	32	40	17,5	8	G 1/4"	65	33	20	M 16 x 1,5	25	106	M8 x 1,25	16	24	46,5	4	37
63	32	45	17,5	8	G 3/8"	78	40,5	20	M 16 x 1,5	25	121	M8 x 1,25	16	24	56,5	4	37
80	40	45	18,5	10	G 3/8"	96	42	25	M 20 x 1,5	32	128	M10 x 1,5	21	30	72	4	46
100	40	55	18,5	10	G 1/2"	116	45	25	M 20 x 1,5	37	138	M10 x 1,5	21	30	89	4	51
125	54	60	27,5	12	G 1/2"	140	55	32	M 27 x 2	45	160	M12 x 1,75	27	41	110	6	65
160	72	65	34	18	G 3/4"	180	58	40	M 36 x 2	60	180	M16 x 2	36	50	140	6	80
200	72	75	23	18	G 3/4"	220	61	40	M 36 x 2	70	180	M16 x 2	36	55	175	7	95
250	84	90	27	21	G 1"	280	67	50	M 42 x 2	80	200	M20 x 2,5	46	65	220	10	105

Anexo G. Elementos neumáticos, accesorios de cilindros.

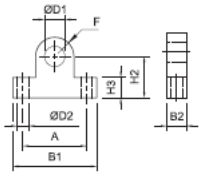
MiCRO | **Cilindros ISO 15552 VDMA 24562** | Serie CN 10 Accesorios

Soporte lateral para basculante intermedio
Acople para horquilla

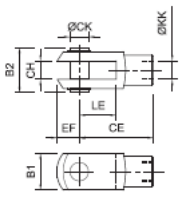
Ø D1	MiCRO
10	0.007.000.014
12	0.008.000.014
16	0.009.000.014
20	0.011.000.014
25	0.013.000.014
30	0.014.000.014

A	B1	B2	Ø D2	F	H2	H3
32	42	9,5	5,5	9,5	22	10
36	48	11,5	6,6	11	25	12
50	66	15,4	9	15	36	16
63	83	19,2	11	19	41	20
75	100	24	16	24	50	25
90	120	29	18	29	57	30

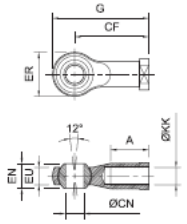
No normalizado



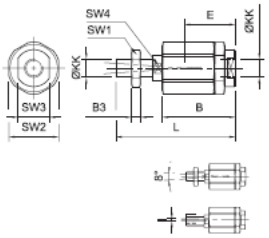
Horquilla para vástago



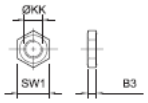
Horquilla con rótula para vástago



Rótula para vástago



Tuerca para vástago



	MiCRO
M10 x 1,25	0.007.000.010
M12 x 1,25	0.008.000.010
M16 x 1,5	0.009.000.010
M20 x 1,5	0.011.000.010
M27 x 2	0.033.000.010
M36 x 2	0.014.000.010
M42 x 2	0.016.000.010

	MiCRO
M10 x 1,25	0.007.000.012
M12 x 1,25	0.008.000.012
M16 x 1,5	0.009.000.012
M20 x 1,5	0.011.000.012
M27 x 2	0.033.000.012
M36 x 2	0.034.000.012

	MiCRO
M10 x 1,25	0.007.000.023
M12 x 1,25	0.008.000.023
M16 x 1,5	0.009.000.023
M20 x 1,5	0.011.000.023
M27 x 2	0.033.000.023
M36 x 2	0.014.000.023

	MiCRO
M10 x 1,25	0.007.000.011
M12 x 1,25	0.008.000.011
M16 x 1,5	0.009.000.011
M20 x 1,5	0.011.000.011
M27 x 2	0.033.000.011
M36 x 2	0.014.000.011
M42 x 2	0.016.000.011

ØKK	A	B	B_1	B_2	B_3	ØCN	CE	CF	CH	ØCK	E	EF	EN	EU	ER	G	I	L	LE	SW_1	SW_2	SW_3	SW_4
M10 x 1,25	21	46	20	25	5	10	40	43	10	10	31	12	14	10,5	28	57	2	71	20	16	30	19	12
M12 x 1,25	24	46	24	30	6	12	48	50	12	12	32	14	16	12	32	66	2	75	24	18	30	19	12
M16 x 1,5	33	63	32	39	8	16	64	64	16	16	44	19	21	15	42	85	2	103	32	24	41	30	19
M20 x 1,5	40	71	40	48	10	20	80	77	20	20	53	25	25	18	50	102	2	119	40	30	41	30	19
M27 x 2	51	104	55	65	12	30	110	110	30	30	76	38	37	25	70	145	4	170	54	41	-	-	32
M36 x 2	56	122	70	78	18	35	144	125	35	35	93	44	43	-	-	-	4	205	72	50	-	-	32
M42 x 2	-	-	85	-	21	-	168	-	40	40	-	77	-	-	-	-	-	-	84	65	-	-	-

Anexo H. Elementos neumáticos, válvulas direccionales.

MiCRO | **Válvulas direccionales 5/2, 5/3 y 2x3/2** | Serie VM15 1/8"

Tipo	Válvulas direccionales de actuación neumática o eléctrica, con actuador manual monoestable.
Funciones	5/2 - 5/3 - 2 válvulas 3/2 en un sólo cuerpo.
Montaje	Unitario.
Conexiones	Trabajo: G 1/8" - Pilotaje: M3x0,5 - Escape de mandos eléctricos: M3x0,5
Temperatura ambiente	-5...50 °C (23...122 °F)
Temperatura del fluido	-10...60 °C (14...140 °F)
Fluido	Aire comprimido filtrado (se recomienda lubricación) - Gases inertes
Presión de trabajo	Ver para cada tipo de actuación
Caudal nominal	850 l/min (0,85 Cv) (en 5/2 y 3/2)
Frecuencia	24 Hz (con reacción neumática y 6 bar)
Materiales	Cuerpo de aluminio, distribuidor de acero inoxidable, sellos de NBR.



	Descripción	Presión de trabajo	MiCRO	Kit de reparación
	Válvula 5/2 mando neumático, reacción neumática	2,5...8 bar	**0.251.001.311**	0.200.000.958
	Válvula 5/2 mando neumático, reacción a resorte	2,5...8 bar	**0.251.001.511**	0.200.000.958
	Válvula 5/2 biestable por impulsos neumáticos	1...8 bar	**0.251.001.711**	0.200.000.958
	Válvula 5/3 mando neumático, centro cerrado	2,5...8 bar	**0.251.001.911**	0.200.000.958
	Válvula 5/3 mando neumático, centro abierto	2,5...8 bar	**0.251.002.111**	0.200.000.958
	Válvula 5/3 mando neumático, centro a presión	2,5...8 bar	**0.251.008.111**	0.200.000.958
	Electroválvula 5/2, reacción neumática	2,5...8 bar	**0.251.002.311 / ---**	0.200.000.959
	Electroválvula 5/2, reacción a resorte	2,5...8 bar	**0.251.002.511 / ---**	0.200.000.959
	Electroválvula 5/2, biestable por impulsos eléctricos	1...8 bar	**0.251.002.711 / ---**	0.200.000.994
	Electroválvula 5/3 centro cerrado	2,5...8 bar	**0.251.002.911 / ---**	0.200.000.994
	Electroválvula 5/3 centro abierto	2,5...8 bar	**0.251.003.111 / ---**	0.200.000.994
	Electroválvula 5/3 centro a presión	2,5...8 bar	**0.251.008.311 / ---**	0.200.000.994

Para obtener el máximo caudal que disponen las válvulas VM15, se recomienda utilizar conectores con rosca G1/8" con sección interna ampliada (ver página 2.2.4.11).

Para más características de los solenoides, ver el capítulo 5 de este manual.
En los códigos de las electroválvulas reemplazar los guiones luego de la barra por los valores de la tabla siguiente, según la tensión seleccionada para el solenoide.
Ejemplo: una válvula 0.251.002.311 / - - - con tensión 220V 50Hz, debe solicitarse:
0.251.002.311 / 901.

Código adicional / ---	Tensión
901	220/230V - 50/60Hz
902	110V - 50/60Hz
937	48V - 50/60Hz
903	24V - 50/60Hz
923	24 Vcc
913	12 Vcc

Anexo I. Elementos neumáticos, válvulas de paso.

MiCRO | **Electroválvulas 2/2 y 3/2** | Serie 213 - 1/8"

Tipo	Válvulas 2/2 y 3/2 de actuación eléctrica, con actuador manual monoestable.
Conexiones	Laterales, inferiores o para montaje múltiple mediante el Kit manifold
Conexión eléctrica	Ficha DIN 43650 - A
Temperatura ambiente	-5...50 °C (23...122 °F)
Temperatura del fluido	-10...60 °C (14...140 °F)
Fluido	Aire comprimido filtrado - Gases inertes
Presión de trabajo	0...2,5 bar (0...36 psi) / 0...10 bar (0...145 psi) / 0 ...16 bar (0...232 psi)
Caudal nominal	78 l/min(*) (0,08 Cv) / 115 l/min (0,12 Cv) / 40 l/min (0,04 Cv)
Frecuencia máx.	23 Hz (1,5 bar) / 17 Hz (6 bar) / 13 Hz (10 bar)
Materiales	Cuerpo de zamac, bobina encapsulada en resina epoxi, tubo guía y tragante de acero inoxidable.
Ejecución especial	Uso hidráulico o neumático hasta 30 bar (435 psi).



(*) Con p = 2,5 bar, Δp = 0,5 bar
Para más características de los solenoides, ver el capítulo 5 de este manual.

	Descripción	Conexión	0...2,5 bar	0...10 bar	0...16 bar
	Electroválvula 2/2 normal cerrada	Lateral	0.210.003.911 / —	0.210.004.011 / —	0.210.004.111 / —
		Inferior	0.210.004.211 / —	0.210.004.311 / —	0.210.004.411 /—
		Múltiple	0.210.006.311 / —	0.210.006.411 / —	0.210.006.511 / —
	Electroválvula 2/2 normal abierta	Lateral	0.210.004.511 / —	0.210.004.611 / —	0.210.004.711 / —
		Inferior	0.210.004.811 / —	0.210.004.911 / —	0.210.005.011 / —
	Electroválvula 3/2 normal cerrada	Lateral	0.210.005.111 / —	**0.210.005.211** / —	**0.210.005.311** / —
		Inferior	0.210.005.411 / —	**0.210.005.511** / —	0.210.005.611 / —
		Múltiple	0.210.006.611 / —	**0.210.006.711** / —	0.210.006.811 / —
	Electroválvula 3/2 normal abierta	Lateral	0.210.005.711 / —	**0.210.005.811** / —	**0.210.005.911** / —
		Inferior	0.210.006.011 / —	0.210.006.111 / —	**0.210.006.211** / —

Código adicional / —	Tensión
001	220V 50Hz - 240V 60Hz
002	110V 50Hz - 120V 60Hz
037	48V 50Hz - 48V 60Hz
003	24V 50Hz
004	12V 50Hz
005	220V 60Hz
006	110V 60Hz
007	24V 60Hz
008	12V 60Hz
009	190 Vcc
010	110 Vcc
011	48 Vcc
012	24 Vcc
013	12 Vcc

En los códigos de las electroválvulas reemplazar los guiones luego de la barra por los valores de la tabla siguiente, según la tensión seleccionada para el solenoide.
Ejemplo:
Una válvula 0.210.005.211 / - - - con tensión 220V 50Hz, debe solicitarse: 0.210.005.211 /001

Anexo J. Elementos neumáticos, reguladores de escape.

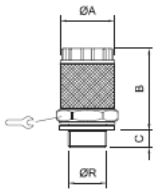
MiCRO | **Reguladores de escape** | Con silenciador incorporado

Tipo	Regulador de escape con silenciador incorporado		
Posición de trabajo	Indiferente		
Fijación	Por rosca macho de conexión		
Fluido	Aire comprimido		
Temperaturas	-10...80 °C (14...176 °F)		
Presión de trabajo	0...10 bar (0...43 psi)		
Conexiones	G1/8"	G 1/4"	G1/2"
Caudal nominal (l/min)	0...710	0...1580	0...3160
Pasaje nominal (mm)	Ø 4	Ø 6	Ø 11
Nivel sonoro a 6 bar	80 dB(A)	83 dB(A)	95 dB(A)
Materiales	Cuerpo de aluminio, elemento silenciador de bronce sinterizado, tornillo regulador de latón y cubierta de resina acetálica.		



ØR	
G 1/8"	0.400.001.211
G 1/4"	0.400.001.222
G 1/2"	0.400.001.244

ØA	B	C		Reducción del nivel de ruido a 6 bar dB (A)
14	20	5	14	35
19	25,5	6,5	19	28
27	36,5	10	27	23

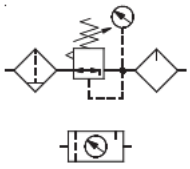


Anexo K. Elementos neumáticos, unidades FR+L

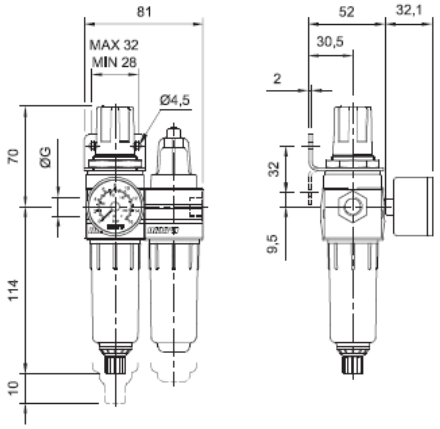
MiCRO | **Unidades FR+L** | Serie QBM0

Tipo	Unidades FRL de tratamiento del aire, filtro-regulador más lubricador, con cuerpos y vasos plásticos (conexiones con insertos metálicos), con bloqueo en el regulador
Posición de trabajo	Vertical, con los vasos hacia abajo
Temperaturas	0...50 °C (32...122 °F)
Poder filtrante	Standard 25µ (opcional 5µ)
Presión de trabajo	Standard: 0,5...8 bar (8...116 psi) Opcional: 0,5...4 bar (8...58 psi)
Drenaje condensados	Manual (opcional semiautomático por caída de presión)
Conexiones	G 1/8" y G 1/4"
Capacidad condensados	22 cm³ (0,74 oz.)
Capacidad de aceite	35 cm³ (1,18 oz.)
Aceites recomendados	ISO VG 32 - SAE 10
Manómetro	Ø 40 mm 1/8", incluido con las unidades
Accesorios y repuestos	Ver página 6.7.1.1





Descripción	ØG	Poder filtrante 5 µ	Poder filtrante 25 µ
Unidad Filtro-Regulador y Lubricador FR+L Presión de trabajo : 0,5...4 bar	G 1/8"	0.104.003.221	0.104.003.321
	G 1/4"	0.104.003.222	0.104.003.322
Unidad Filtro-Regulador y Lubricador FR+L Presión de trabajo : 0,5...8 bar	G 1/8"	0.104.003.421	**0.104.003.521**
	G 1/4"	0.104.003.422	**0.104.003.522**



Notas:
- Para especificar una unidad con **drenaje semiautomático** por caída de presión en el filtro, agregar 035 luego de una barra.
Ejemplo: 0.104.003.221/035

Anexo L. Elementos de control y maniobra

Panorama de nuestro programa de productos



	Aparatos de mando y señalización 3SB		
	Pulsadores y lámparas de señalización 3SB3	**Cajas 3SB3**	**Panel de operación con dos manos 3SB38**
Descripción	Lámparas de señalización, pulsadores, interruptores con llave, pulsadores luminosos, pulsadores hongo para PARADA de EMERGENCIA, portalámparas e interruptores con perilla.	Pulsadores, lámparas de señalización en caja, cajas para PARADA de EMERGENCIA y cajas específicas para clientes a pedido.	Panel de operación con dos manos, inclusive PARADA de EMERGENCIA, 2 pulsadores hongo y la posibilidad de montar aparatos de mando adicionales.
Ejecución	Material plástico o metal, redondos con 22 mm de diámetro y cuadrados de 26 x 26 mm.	Material plástico o metal.	Material plástico o metal.
Montaje / conexiones	Montaje por parte de una persona sin herramientas especiales, equipamiento modular de los elementos de comando con bloques de conexiones y portalámparas. Conexiones con tornillos, por tensión de resorte (Cage Clamp) o pernos para soldar.	Fijación frontal o por la base.	Puede montarse sobre una pared, un bastidor o directamente en la instalación.
Clase de protección	Material plástico: IP 66 / IP 67 Metal: IP 67 y NEMA 4	Metal: IP 65 / IP 67	IP65
Homologaciones	UL, CSA, CE, BG (PARADA de EMERGENCIA 3SB3)	UL, CSA, CE, BG (PARADA de EMERGENCIA 3SB3)	EN 574, DIN 24980
Normas relevantes	IEC/EN 60947-1; IEC/EN 60947-5-1; IEC/EN 60947-5-5;		
AS-Interface	Los pulsadores y las lámparas de señalización pueden conectarse rápida y sencillamente al sistema de comunicación AS-Interface aplicando diferentes soluciones. AS-Interface estándar con comunicación de seguridad también permite conectar en forma directa aparatos de PARADA de EMERGENCIA.	Cajas con AS-Interface integrada. Los aparatos de comando estándar y de PARADA de EMERGENCIA pueden montarse en una caja. Estructura modular.	Los paneles metálicos pueden equiparse posteriormente con AS-Inteface segura.
Seguridad	En caso de peligro, el personal de operación también utiliza los pulsadores hongo de PARADA de EMERGENCIA para desconectar las instalaciones.	Función PARADA de EMERGENCIA con retención según ISO 13 850.	Función PARADA de EMERGENCIA con retención según ISO 13 850.

BIBLIOGRAFÍA

- ASKELAND, Donald R. Ciencia e ingeniería de los materiales. 3 ed. México: international thomson editores, 1998., p. 5-9.

- CENGEL, Yunus. Transferencia de calor. 2 ed. México. McGrawn-hill. 2004., p 17.

- CREUS S, Antonio. NEUMÁTICA E HIDRÁULICA. Fundamentos de transferencia de calor. 1 ed. Alfa-omega, marcombo, 2007.

- HARPER, Charles A. hand book of plastics, elastomers and composites. 4th edition. McGraw Hill, 2002.

- INCROPERA, Frank. Fundamentos de transferencia de calor. 4 ed. Prentice hall hispanoamericana S.A., p 92

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC-1486. Bogotá D.C

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Envases plásticos. Envases plásticos termoformados desechables para uso industrial. NTC-3717. Bogotá D.C

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Referencias bibliográficas. Contenido forma y estructura. NTC-5613. Bogotá D.C

- MORTON, Jones. Procesamiento de plástico. 1 ed. México: Editorial Limusa, 1993., p. 95

- RICHARDSON, Terry L; LOKENSGARD, Erik. Industria del plástico: plástico industrial. A&C Black, 1999.