



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

TESIS DOCTORAL

Título
Aplicación del método QFD para el diseño de un envase de geometría especial en el proceso de termoformado
Autor/es
Moisés Espinoza Correa
Director/es
Ana González Marcos y Fernando Alba Elías
Facultad
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Titulación
Departamento
Ingeniería Mecánica
Curso Académico
2014-2015



**Aplicación del método QFD para el diseño de un envase de geometría especial
en el proceso de termoformado**, tesis doctoral

de Moisés Espinoza Correa, dirigida por Ana González Marcos y Fernando Alba Elías
(publicada por la Universidad de La Rioja), se difunde bajo una Licencia
Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported.
Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los
titulares del copyright.



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Julio 2015

PROGRAMA DE DOCTORADO INTERUNIVERSITARIO
DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS

TESIS DOCTORAL

**APLICACIÓN DEL MÉTODO QFD PARA EL DISEÑO DE
UN ENVASE DE GEOMETRÍA ESPECIAL EN EL
PROCESO DE TERMOFORMADO**

Autor : D. Moisés Espinoza Correa

Directores : Dra. Ana González Marcos
Dr. Fernando Alba Elías

*A mis hijos Ana, Moisés y Emmanuel,
Por ser la razón de mi existencia,
Y permitirme las horas de ausencia
Por perseguir mis metas profesionales.*

*A mi esposa Consuelo,
Por formar parte de mi vida y
Apoyarme siempre, en los retos que he asumido.*

*A mis padres Moisés y Consuelo,
Quienes con su ejemplo y cariño,
Me inculcaron desde pequeño,
Las virtudes del trabajo y la dedicación.*

*A mis hermanos Eliana, Erik y Joel,
Por su ayuda frecuente y desinteresada.
Con quienes confirmé que sin la unión no hay fuerza.*

AGRADECIMIENTOS

*A la empresa JEMA.MC y a sus integrantes
A quienes debo agradecer toda la colaboración prestada.*

*A los directores de la Tesis,
Por el apoyo y dedicación prestado para el desarrollo del presente trabajo.*

*A la Universidad de la Rioja,
Y a los docentes del departamento de mecánica,
Por su aportación a mi formación académica.*

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción.....	9
1.1 Termoformado.....	11
1.1.1. El termoformado en nuestras vidas.....	11
1.1.2. Descripción y tipos de termoformado.....	13
1.1.2.1. Termoformado de una sola etapa.....	17
1.1.2.1.1. Termoformado por adaptación.....	17
1.1.2.1.2. Termoformado por vacío.....	18
1.1.2.1.3. Termoformado a presión.....	19
1.1.2.1.4. Libre soplado.....	19
1.1.2.1.5. Molde y contra molde.....	20
1.1.2.2. Termoformado en etapas múltiples.....	20
1.1.2.2.1. Estirado de burbujas.....	20
1.1.2.2.2. Vacío con respaldo.....	21
1.1.2.2.3. Vacío con burbuja.....	22
1.1.2.2.4. Vacío asistido con pistón.....	22
1.1.2.2.5. Presión asistida con pistón.....	23
1.1.2.2.6. Presión asistida con pistón con estirado inverso.....	23
1.1.2.2.7. Vacío con burbuja asistido por pistón.....	24
1.1.2.2.8. Termoformado por lámina apoyada.....	24
1.2 Problemática de las limitaciones geométricas de los envases.....	25
2. Objetivos, Antecedentes y Alcance.....	30
2.1 Objetivos.....	30
2.2 Antecedentes.....	30
2.3 Alcance.....	35
3. Estado del arte	36
3.1 Desarrollos e investigaciones relacionadas a la estación de precalentamiento / termoformado y a envases con geometría especial.....	36
3.1.1. Proceso de termoformado mediante la apertura de molde.....	36
3.1.2. Proceso de termoformado mediante la apertura parcial de molde.....	39
3.1.3. Proceso de termoformado mediante la apertura parcial y desplazamientos verticales o laterales de cavidades internas del molde.....	39
3.1.4. Proceso de termoformado mediante la disposición especial de las partes que conforman la estación de termoformado.....	41

3.2	Desarrollos e investigaciones relacionadas al QFD.....	41
3.2.1.	Aplicación del QFD para el diseño de máquinas relacionadas a productos orgánicos.....	42
3.2.2.	Aplicación del QFD para el diseño de productos orgánicos.....	42
3.2.3.	Desarrollos referidos a la importancia de las necesidades o requerimientos de los clientes.....	43
3.2.4.	Aplicación del QFD y la teoría de la innovación para el diseño de productos ergonómicos.....	44
4.	Despliegue de la Función de Calidad – QFD	46
4.1	Conceptos y beneficios de la matriz de calidad.....	47
4.2	Ventajas de la aplicación del QFD.....	48
4.2.1.	Innovación del producto.....	48
4.2.2.	Herramienta efectiva del marketing.....	48
4.2.3.	Comunicación inter-funcional.....	49
4.2.4.	Determinación de las prioridades de mejora continua.....	49
4.2.5.	Análisis de costo y beneficio.....	50
5.	Metodología - Aplicación del QFD para el diseño de envase de geometría especial.....	51
5.1	Diseño de la metodología.....	51
5.1.1.	Estructura de la descomposición del proyecto.....	51
5.1.2.	Fases del proyecto.....	51
5.1.3.	Diagrama de Gantt.....	52
5.2	Desarrollo del despliegue de la función de calidad (QFD).....	52
5.2.1.	FASE 0: Identificación del cliente.....	52
5.2.2.	FASE 1: Matriz de la planificación del producto.....	53
5.2.2.1.	Identificación de los requerimientos del cliente.....	53
5.2.2.2.	Priorizar los requerimientos del cliente.....	56
5.2.2.3.	Identificación / análisis de los competidores.....	56
5.2.2.3.1.	Competidores principales (CP).....	57
5.2.2.3.2.	Competidores secundarios (CS).....	58
5.2.2.4.	Evaluación de la competencia.....	60
5.2.2.5.	Factores de mejora respecto a los competidores.....	61
5.2.2.6.	Aspectos decisivos para la venta. Marketing.....	61
5.2.2.7.	Características técnicas asociadas a los requerimientos.....	63
5.2.2.7.1.	Características operativas.....	63
5.2.2.7.2.	Características sobre reparación y mantenimiento.....	63

5.2.2.7.3.	Características sobre consumos.....	64
5.2.2.7.4.	Características sobre costes.....	64
5.2.2.8.	Interrelación, requerimientos del cliente / características técnicas.....	65
5.2.2.9.	Evaluación técnica, competidores / características técnicas.....	66
5.2.2.10.	Valores objetivos - metas preliminares.....	69
5.2.2.11.	Interacciones entre las características técnicas.....	69
5.2.2.12.	Factor de importancia normalizados.....	71
5.2.2.13.	Determinar las acciones a realizar.....	72
5.2.3.	FASE 2: Matriz de selección de alternativas.	73
5.2.3.1.	Determinación de las alternativas del producto.....	73
5.2.3.1.1.	Alternativa 1: Sistema de termoformado con giro mecánico de molde..	74
5.2.3.1.2.	Alternativa 2: Sistema de termoformado con giro servo-asistido de molde.....	78
5.2.3.1.3.	Alternativa 3: Sistema de termoformado con giro neumático de Molde.....	80
5.2.3.2.	Selección de la mejor alternativa.....	83
5.2.3.3.	Determinación de las partes significativas del diseño.....	86
5.2.3.3.1.	Estación de precalentamiento.....	86
5.2.3.3.2.	Grupo de elevación de la estación de termoformado.....	86
5.2.3.3.3.	Sistema de molde y termoformado.....	87
5.2.3.3.4.	Sistema de pistonaje.....	87
5.2.4.	FASE 3: Matriz de desarrollo de las partes significativas del diseño.	87
5.2.4.1.	Determinación de las partes y subsistemas significativos.....	87
5.2.4.2.	Identificación de las características técnicas asociadas a requerimientos técnicos.....	88
5.2.4.3.	Interrelación características técnicas / requerimientos de subsistemas.....	90
5.2.4.4.	Valores objetivos preliminares.....	92
5.2.4.5.	Interrelación entre las características técnicas.....	92
5.2.4.6.	Factores de importancia normalizados.....	93
5.2.4.7.	Determinar las acciones a realizar.....	94
6.	Diseño conceptual y de detalle	95
6.1	Diseño Conceptual.....	95
6.1.1.	Estación de precalentamiento.....	97
6.1.2.	Estación de termoformado.....	101
6.1.2.1.	Grupo de elevación.....	102

6.1.2.2. Sistema de pistonaje.....	104
6.1.2.3. Sistema de molde y termoformado.....	105
6.2 Diseño de Detalle.....	108
6.2.1. Característica crítica 1: Temperatura de precalentamiento controlada.....	108
6.2.1.1. Especificaciones secundarias de la estación de precalentamiento.....	110
6.2.1.1.1. Precalentamiento en dos secuencias.....	110
6.2.1.1.2. Revestimiento de teflón.....	111
6.2.2. Característica crítica 2: Control de variable de desplazamiento.....	113
6.2.2.1. Especificación secundaria del grupo de elevación.....	114
6.2.2.1.1. Ajuste independiente de recorrido.....	114
6.2.3. Característica crítica 3: Cierre y apertura de molde mediante desplazamiento radial.....	117
6.2.3.1. Especificaciones secundarias del grupo de pistonaje, molde y termoformado.....	119
6.2.3.1.1. Control de variable de desplazamiento de pistón.....	119
6.2.3.1.2. Hermeticidad de cierre.....	120
6.2.3.1.3. Control de temperatura de molde.....	121
6.2.3.1.4. Control de presión y caudal de aire.....	122
6.2.4. Diseño de máquina prototipo, estaciones y equipos anexos.....	124
6.2.4.1. Bastidor de máquina.....	124
6.2.4.2. Estación de tracción de material.....	124
6.2.4.3. Diseño eléctrico.....	125
6.2.4.4. Diseño neumático.....	126
6.2.4.5. Diseño de automatismo.....	126
6.2.4.6. Diseño de máquina.....	129
6.3 Construcción de prototipo.....	131
6.3.1. Construcción del bastidor de máquina.....	131
6.3.2. Construcción de la estación de tracción de film.....	132
6.3.3. Construcción de la estación de precalentamiento.....	133
6.3.4. Construcción de la estación de termoformado.....	134
6.3.5. Instalación eléctrica, neumática y de automatismo.....	136
6.4 Montaje, puesta a punto y pruebas.....	139
6.4.1. Montaje de máquina.....	139
6.4.2. Puesta a punto y pruebas de termoformado.....	141
6.4.2.1. Resultados y conclusiones de las pruebas.....	146

7. Resultados del proyecto.....	148
8. Conclusiones y líneas futuras de investigación.....	149
8.1 Conclusiones en el ámbito científico – técnico.....	149
8.2 Futuro desarrollo prototipo industrial.....	150
8.3 Futuras líneas de investigación.....	150
8.3.1. Teoría Fuzzy y PID en el sistema de control de temperatura... ..	151
8.3.2. Simulación del termoformado asistido.....	152
8.3.3. Efectos del coeficiente de fricción del film en el proceso de termoformado....	154
8.3.4. Predicción de distribución de espesor de pared en el termoformado simple...155	
9. Bibliografía.....	157
10. Índice de figuras.....	162
11. Índice de tablas.....	166

1.- INTRODUCCIÓN.-

La presente tesis doctoral “Aplicación del método QFD para el diseño de un envase de geometría especial en el proceso de termoformado”, tiene como objetivo principal la investigación y desarrollo de un nuevo sistema en el proceso de termoformado de envases, para obtener envases cuya geometría no es posible realizarlo con los procesos utilizados actualmente. Para lograr dicho propósito, se ha empleado el método de diseño de producto denominado Despliegue de la Función de la Calidad “QFD” (Quality Function Deployment).

En la actualidad, la tendencia de consumo de productos termoformados van en aumento, se estima que generaron en el 2012 unos 9,700 millones de Euros y se prevé que aumente a 11,790 millones de euros en el 2017. El packaging, que es la rama del termoformado dirigida al envasado de productos consumibles, domina el 80% del mercado de termoformado y se asume una ganancia de 6,800 millones en 2012, y se prevé que crecerá a casi 8 mil millones de euros en 2017 [1]. El aumento de la demanda de uso del proceso de termoformado en el packaging, especialmente en el usado para alimentos (lácteos y postres), así como la evolución de su tecnología y de las materias primas usadas (Fig. 1.1) [2]. La diversidad y el gran uso de este proceso alientan a los investigadores a desarrollar formas más sofisticadas y rentables para el proceso [3], generando también, la evolución en la geometría de los envases, buscando la satisfacción de necesidades funcionales, mecánicas y estéticas del mercado consumidor.

El creciente aumento de la demanda de este tipo de envases y las experiencias vividas de más de 10 años en el mundo del termoformado, identificando las necesidades y limitaciones que tienen actualmente las máquinas termoformadoras para la obtención de envases de geometrías especiales, me motivaron iniciar un proyecto de investigación en el cual el objetivo principal es el desarrollo de un proceso de termoformado con el cual se obtendrá una serie de envases cuyas geometrías y acabados generen un impacto visual y practicidad de uso diferenciador a los actuales envases de productos alimentarios que se encuentran en el mercado.

Para el desarrollo de nuevos diseños y productos, se puede optar por utilizar uno o más de los métodos de diseño, como el diseño robusto [50], el diseño modular considerando las 3R (reutilizar, reducir y reciclar) [51], diseño asistido por ordenador (CAD) [52], modelado de

objetos 3-D [53], Computer-Aided Manufacturing (CAM) [54], la realidad virtual [55], análisis de valor [56], Despliegue la Función de Calidad (QFD) [57] [58], entre otros. En nuestro caso, se considero más apropiado el uso del método de diseño QFD, por que nos proporciona una fácil y eficaz utilización de los requerimientos del cliente, los cuales ya los teníamos definidos, y que nos llevaría a la identificación de las principales características que se deben considerar para el desarrollo del diseño y la fabricación del prototipo.

Time	Thermoforming Event
Prehistoric	Romans used keratin sheets and used hot oil to shape this thermoplastic material into food utensils Native Americans used natural cellulose to make canoes
1800–1899	Hyatt thermoformed cellulose nitrate sheet for the first time Celluloid baby rattles with intricate details were thermoformed
1900–1959	Sharps piano keys drape formed over captive wooden cores were formed Development of thermoplastics Development of acrylic aircraft cockpit enclosures, canopies, turrets, domes, relief maps Bottles formed from two thermoformed halves were developed by Fernplas Corp. in 1933 Phillips thermoformed rigid PVC for their refrigerator Cast acrylic bathtubs thermoformed by Troman Brothers
1960–1999	Major developments were made in the area of blister and food packaging Danafilms developed blister packs made out of PVC and copolymer Scrap-handling and reduction methods were introduced Borg-Warner Inc. introduced an idea to thermoform ABS car automobile bodies Viking Products introduced crystallizing polyethylene terephthalate for food reheat use
2000–2012	Development of three families of copolyesters for thermoforming: RPET/APET, PETG/Spectar™ Sheet/UltrosRenu™ and UltraTuf™CX/PCTG [6] Bemis Company introduced Perfecseal surgical device packaging TEQ introduced HeartMate VAD packaging

Fig. 1.1: Timeline of Thermoforming Events. [2]

1.1.- TERMOFORMADO.-

1.1.1.- El termoformado en nuestras vidas.-

En la actualidad, la evolución y los avances del mundo del envasado, nos proporciona una serie de productos; frescos, no contaminados, esterilizados y en muchos casos en atmósferas controladas. Con lo cual nos facilita en gran medida nuestra vida cotidiana. El termoformado nos proporciona todas estas ventajas, nos brinda soluciones para el envasado de tres grupos principales de productos, los productos alimentarios, no alimentarios y farmacéuticos. (Fig. 1.2).

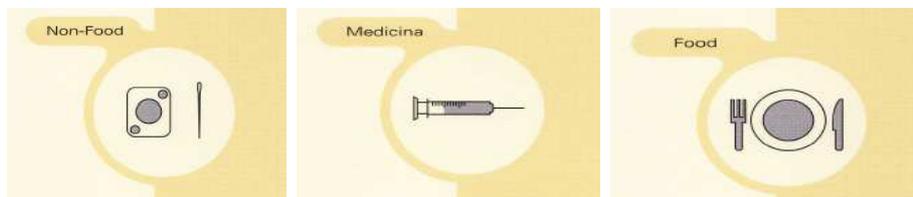


Fig. 1.2 Tipos de productos a envasar en envases termoformados.

En el envasado de productos farmacéuticos, el tipo de termoformado a usar es el llamado blister (ampolla) y las dimensiones de dicha ampolla las define la geometría del producto a envasar, pastillas o cápsulas (Fig. 1.3).



Fig. 1.3 Envases termoformados para productos médicos.

Para los productos no alimentarios, como herramientas, utensilios de cocina, etc., el envase generalmente tiene la forma de la silueta del producto envasado (Fig. 1.4).



Fig. 1.4 Envases termoformados para productos NO alimentarios.

El envasado de productos alimentarios es muy amplio, según avanza la tecnología de los procesos de termoformado, desarrollos de nuevos materiales, incorporación de nuevos elementos en las atmósferas controladas y diseños de nuevos envases con propiedades mecánicas, funcionales y estéticas innovadoras, proporcionan nuevas soluciones de envasado para productos que tradicionalmente se envasan en envoltentes metálicos o de vidrio, o que simplemente no eran posible envasarlos. En la figura 1.5, mostramos un pequeño ejemplo de los productos alimentarios que actualmente se envasan en termoformado.

Después de eso, la pieza se enfría para recuperar su fuerza, y finalmente, se cortará el exceso de material en los bordes [4].

El termoformado es un proceso extremadamente difícil de analizar. Se trata de un estado tridimensional de deformidades en un viscoelástico con múltiples opciones, en cuanto a las condiciones del proceso y geometrías muy complejas. En el termoformado de un envase se identifican varios pasos del proceso y sólo los pasos de formación pueden tener múltiples grupos de variables involucradas, en función de lo específico de la técnica utilizada y al tipo de termoformado. A pesar de todas estas dificultades, los beneficios de comprender y predecir de qué manera puede verse afectado las propiedades finales de una pieza termoformada son obvios, cuando se alteran algunos parámetros específicos en el moldeo [5].

En el proceso de termoformado, la lámina de plástico se calienta ligeramente por encima de la temperatura de transición vítrea, para los polímeros amorfos, o ligeramente por debajo del punto de fusión, para los materiales semi-cristalinos. Aunque ambos polímeros amorfos y semi-cristalinos se utilizan para el termoformado, el proceso es más fácil con polímeros amorfos porque tienen un amplio rango de temperaturas de goma por encima de la temperatura de transición vítrea [6]. Las Características de proceso de termoformado para algunos polímeros moldeables se enumeran en la Fig. 1.7 [7].

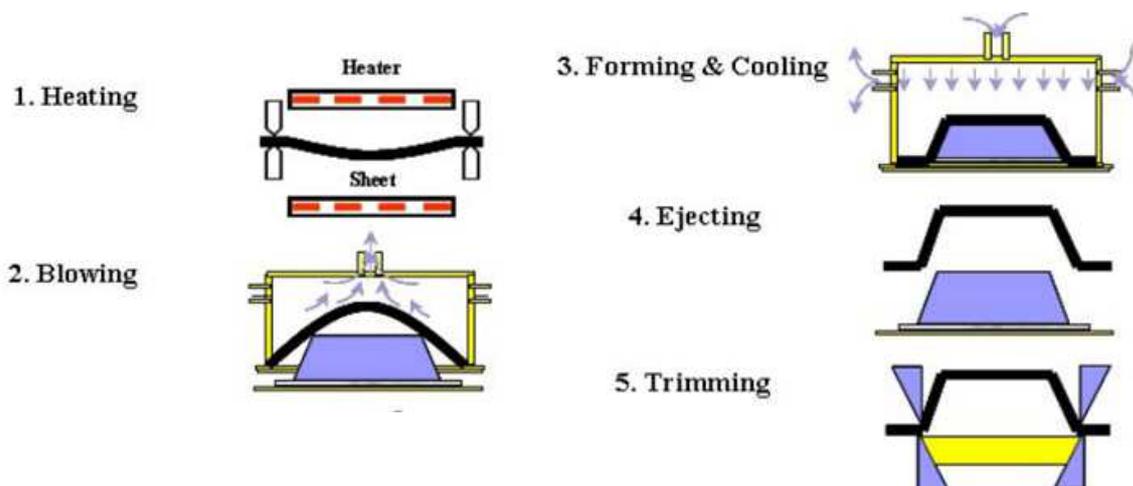
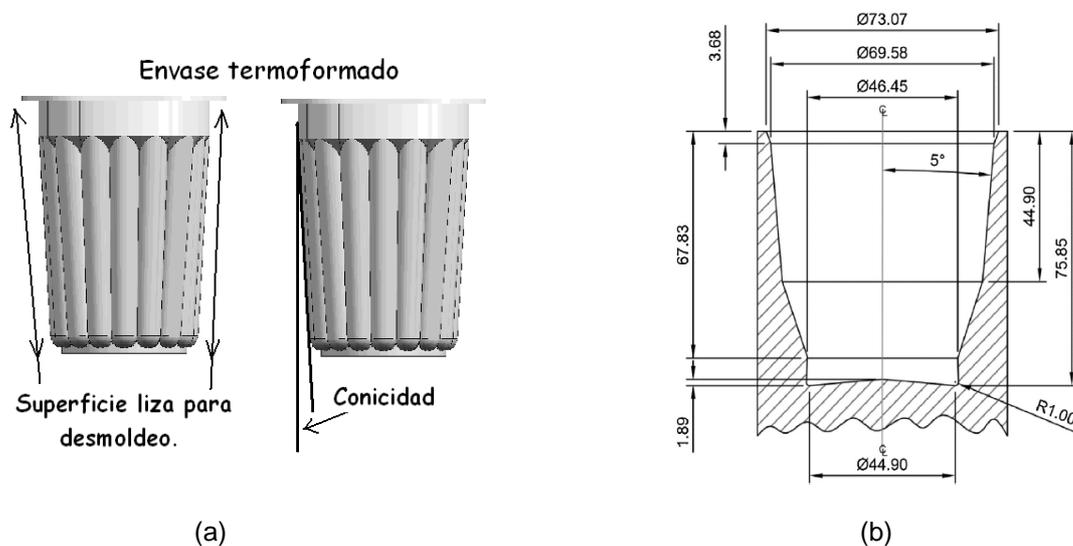


Fig. 1.6: Thermoforming process. [7]

Polymer	Forming Temp. (°C)	Maximum Areal Draw Ratio
Polystyrene	150–190	8:1
High-Impact Polystyrene	160–205	8:1
ABS	150–205	10:1
Modified polyphenylene oxide	160–220	6:1
Oriented polystyrene	125–160	5:1
Polymethyl methacrylate	150–205	12:1
Polymethyl methacrylate/ unplasticized polyvinyl chloride blend	150–190	8:1
Flexible or plasticized polyvinyl chloride	110–150	10:1
Rigid or unplasticized polyvinyl chloride	120–175	6:1
Low-density polyethylene	125–175	6:1
High-density polyethylene	140–190	8:1
Polypropylene	140–165	6:1
Ethylene-modified vinyl acetate	135–175	8:1
Polycarbonate	175–230	8:1
Amorphous polyethylene terephthalate	125–165	6:1
Polystyrene Foam	90–120	2:1
Crosslinked polyethylene Foam	150–205	4:1

Fig. 1.7: Forming Characteristics of Generic Polymers. [8]

El criterio fundamental que se debe considerar para el diseño de envases termoformados tradicionalmente es el mantener un mínimo ángulo de desmoldeo “Conicidad” y la “no presencia de protuberancias en la superficie exterior del envase” (Fig. 1.8). Las geometrías de envases más utilizados en la industria alimentaria mantienen este criterio básico de diseño (Fig. 1.9).



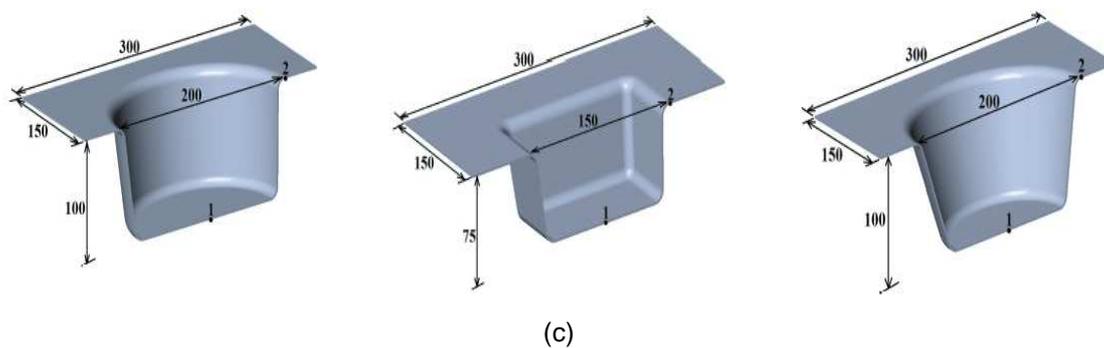


Fig. 1.8: (a) Criterios básicos para el diseño de envases termoformados [22]. (b) Proporción de medidas en el diseño de envases [25]. (c) Proporción de medidas en diseño de envase en relación a la geometría [24].



Fig. 1.9: Geometrías de envases termoformados, para uso alimentario, mas utilizados. [22].

Las diferentes variables involucradas en el proceso de termoformado son las siguientes: temperatura de la lámina, tiempo de cierre precalentamiento, presión de cierre precalentamiento, superficie de contacto, acabado superficial, geometría de envase, geometría de punzón, velocidad y longitud de desplazamiento de punzón, presión de aire y refrigeración de molde. Es difícil aislar un parámetro específico para estudiar su efecto, ya que en la mayoría de los casos, un solo parámetro puede alterar otro.

La suma de las variables que intervienen en el proceso de termoformado, la geometría del envase y el tipo o tipos de material con el que se puede termoformar. Obligan a la implementación de distintos mecanismos o sistemas que se agrupan en tipos de termoformado, estos tipos los podemos diferenciar según la acción mecánica que realiza la máquina, en una sola o en múltiples etapas.

1.1.2.1.- Termoformado de una sola etapa.-

Se refiere a aquella modalidad de termoformado en la cual solo interviene una única estación (etapa), donde se realiza sincronizadamente el calentamiento de la lámina, la formación y el posterior enfriamiento del envase termoformado. Algunos de los primeros productos termoformados se produjeron usando la formación de un solo paso. En este enfoque, las láminas de grueso calibre eran simplemente calentado hasta que estén blandas y luego se conforman.

1.1.2.1.1.- Termoformado por adaptación.-

La lámina caliente se desplaza verticalmente hacia abajo sobre el molde macho o se hace subir a éste de modo que se adapte a su forma. La adaptación se complementa haciendo el vacío entre el molde macho y la lámina, o aplicando sobre ella presión de aire. Los productos de este proceso presentan un espesor grande en el fondo que va disminuyendo hasta ser mínimo en los bordes.

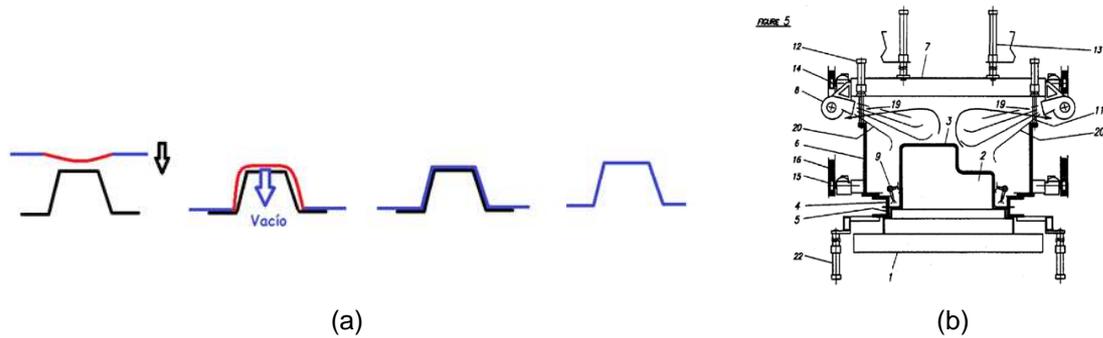


Fig. 1.10: (a) Termoformado por adaptación. (b) Estación y método de termoformado con un sistema de enfriamiento rápido para los artículos termoformados [9].

1.1.2.1.2.- Termoformado por vacío.-

La lámina caliente se fija sobre el borde del molde hembra haciendo luego el vacío entre el molde y la lámina. En contraste con el proceso anterior, el espesor de la pieza es mayor en los bordes y mínimo en los cantos de la parte inferior. Es un procedimiento económico para la producción de piezas de gran tamaño, de bajo volumen a un precio razonable. Las ventajas de la formación al vacío son la capacidad para formar grandes piezas sin equipos y herramientas caras. Permittiéndote grandes tiradas de producción y diseño de moldes y modificaciones de bajo costo. El principal problema con este proceso es la formación de la distribución del espesor irregular a través de la parte y, a menudo se corrige mediante el uso de un punzón mecánico.

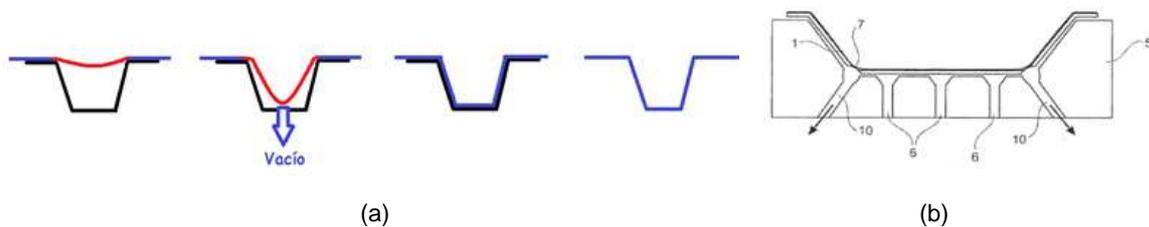


Fig. 1.11: (a) Termoformado por vacío. (b) Envase para empaquetado en atmósfera modificada [10].

1.1.2.1.3.- Termoformado a presión.-

La lámina caliente se fija sobre el borde del molde hembra haciendo luego el vacío entre el molde y la lámina, seguidamente se aplica presión de aire mediante la campana (cámara superior) a la cara superior de la lámina. Este procedimiento se utiliza para conformar láminas de pequeño espesor como el Polipropileno (PP) el cual se suministra en rollos o para transformar láminas de gran espesor en piezas con detalle superficial fino.

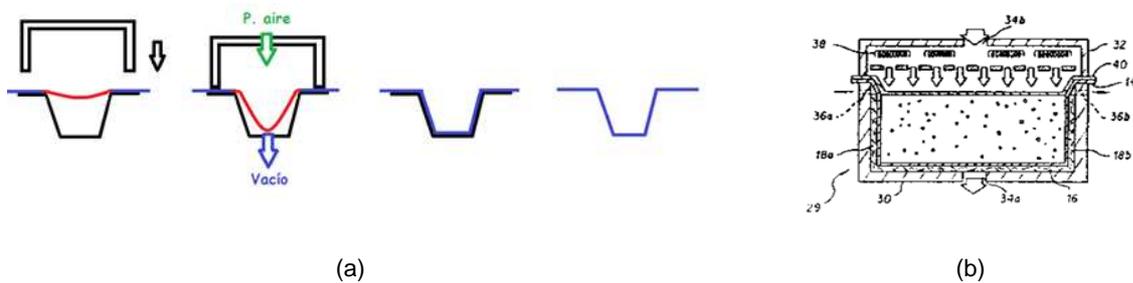


Fig. 1.12: (a) Termoformado a presión. (b) Method for parking moldable product and packed article thereof [11].

1.1.2.1.4.- Libre soplado.-

Se aplica aire comprimido entre una cámara que sustituye al molde, inexistente en este caso, y la lámina caliente, para obtener una burbuja, cuya altura se controla mediante una fotocélula. Dado que la burbuja formada de la lámina no toca ningún elemento metálico, no tiene ninguna marca y excepto en las cercanías al marco de fijación, tiene un espesor regular. El aire enfría la burbuja para rigidizar la pieza. Este sistema se usa extensamente en envases tipo "blister" (ampolla) a partir de la lámina delgada suministrada en rollo.

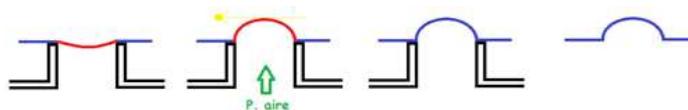


Fig. 1.13: Libre soplado.

1.1.2.1.5.- Molde y contramolde.-

Utilizados para conformar piezas a partir de polímeros relativamente rígidos, como el Poliestireno expandido (EPS). La lámina caliente se posiciona entre el molde hembra (inferior) y contramolde o molde macho (superior), aplicándose en algunas situaciones vacío entre la lámina y el molde hembra / macho.

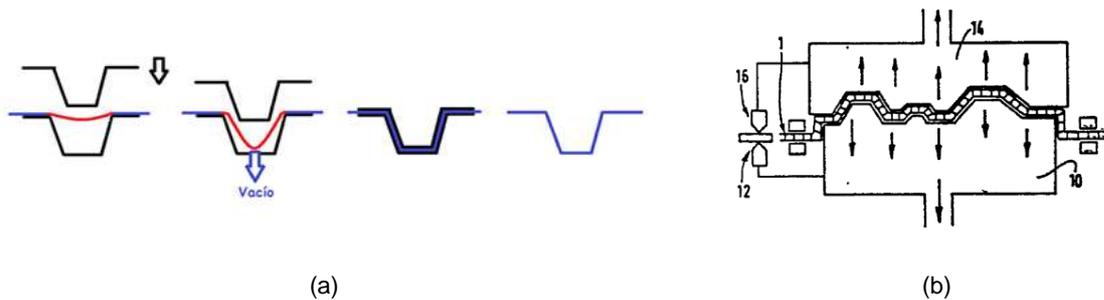


Fig. 1.14: (a) Molde y contramolde. (b) Method for thermoforming an internally braced dual-wall panel [12]

1.1.2.2.- Termoformado en etapas múltiples.-

Para hacer frente a problemas con espesores inaceptables en piezas embutidas, se realizó un proceso de conformación de dos pasos. Se trata de la manipulación de una hoja caliente antes de su contacto con la superficie del molde. La presión de formación ofrece un ciclo de producción más rápido, una mayor definición de la pieza y un mayor control dimensional

1.1.2.2.1.- Estirado de burbuja.-

La lámina caliente se posiciona sobre la cámara inferior, formándose la burbuja por acción de la presión de aire aplicada desde la cámara inferior, seguidamente desciende el molde macho, al cerrar sobre los bordes de la lámina, se aplica vacío entre ambos e inmediatamente presión de aire desde la cámara inferior.

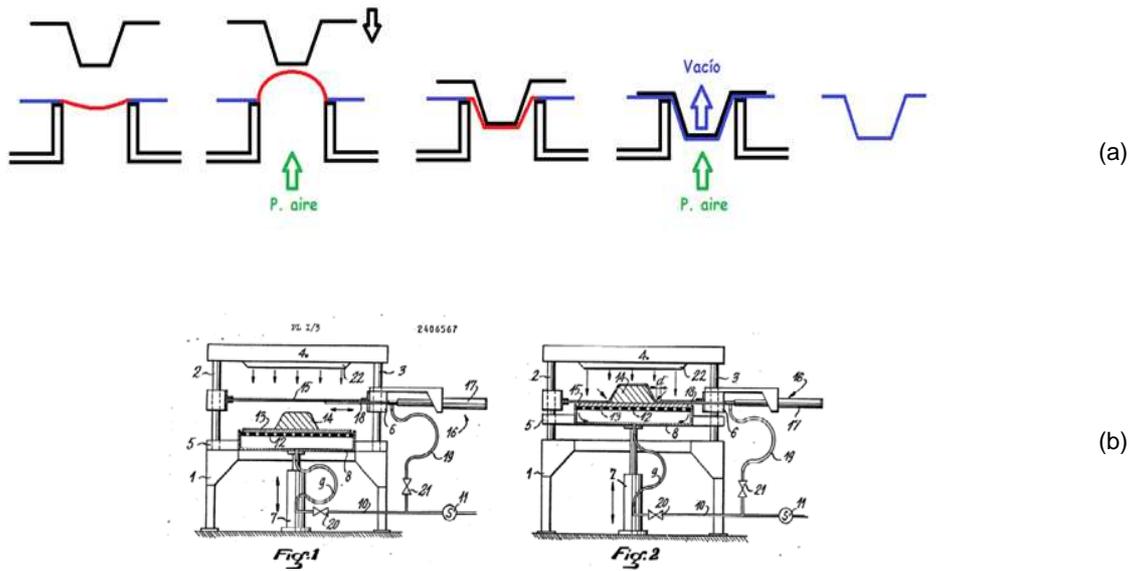


Fig. 1.15: (a) Estirado de burbuja. (b) Method and device for a tight packing under a thermoplastic and thermoformable film of products requiring an absolute protection [13].

1.1.2.2.2.- Vacío con respaldo.-

De modo inverso al anterior método, la burbuja se forma mediante vacío entre la lámina caliente y la cámara inferior. El molde macho descende y completa el conformado, efectuándose el vacío entre éste y la lámina y aplicando presión de aire entre ésta y la cámara.

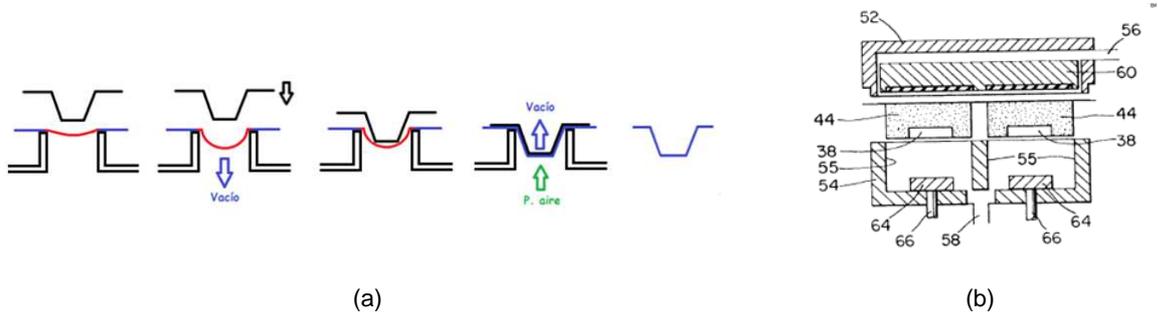


Fig. 1.16: (a) Vacío con respaldo. (b) Recipiente perfilado termoformado de película flexible para productos granulares, y método y aparato para fabricarlo [14].

1.1.2.2.3.- Vacío con burbuja.-

Se posiciona la lámina caliente sobre el molde hembra, se aplica presión de aire entre el molde y la cara inferior de la lámina. Una vez formada la burbuja se hace el vacío entre ésta y el molde.

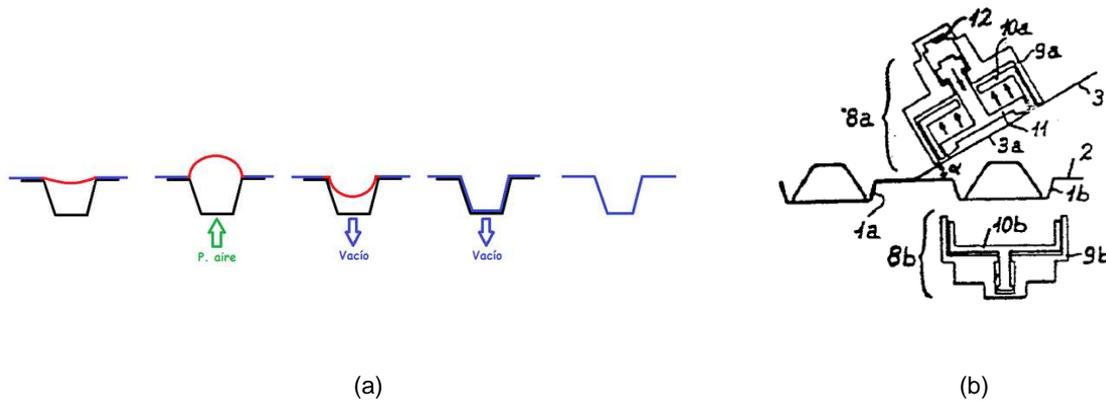


Fig. 1.17: (a) Vacío con burbuja. (b) Machine for packaging, under vacuum, food products or other products in packing trays [15].

1.1.2.2.4.- Vacío asistido con pistón.-

Se posiciona la lámina caliente sobre el molde hembra, un pistón de geometría adecuada se desplaza verticalmente hacia abajo, desplazando la lámina hasta tocar el fondo de molde, en ese momento se aplica vacío desde el molde hasta el material. Con este proceso se asegura el espesor del fondo y sus aristas.

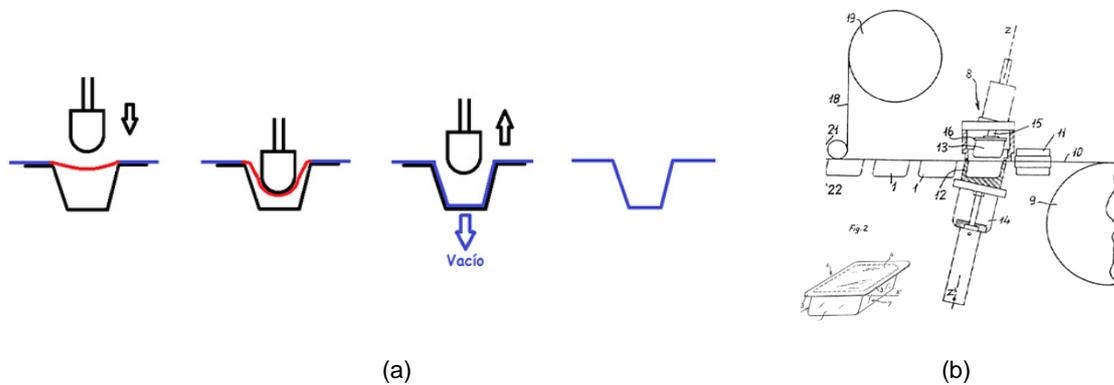


Fig. 1.18: (a) Vacío asistido con pistón. (b) Device and installation for forming and closing trays [16]

1.1.2.2.5.- Presión asistida con pistón.-

Se posiciona la lámina caliente sobre el molde hembra, la campana (cámara superior) se desplaza verticalmente hasta cerrar herméticamente con la lámina, seguidamente un pistón, de geometría adecuada, se desplaza en el mismo sentido desplazando a su vez la lámina hasta tocar el fondo de molde, en ese momento se genera la evacuación de aire por el molde o en su defecto se puede aplicar vacío desde el molde hasta el material y a la vez se aplica presión de aire desde la campana. Con este proceso se asegura el espesor del fondo y sus aristas.

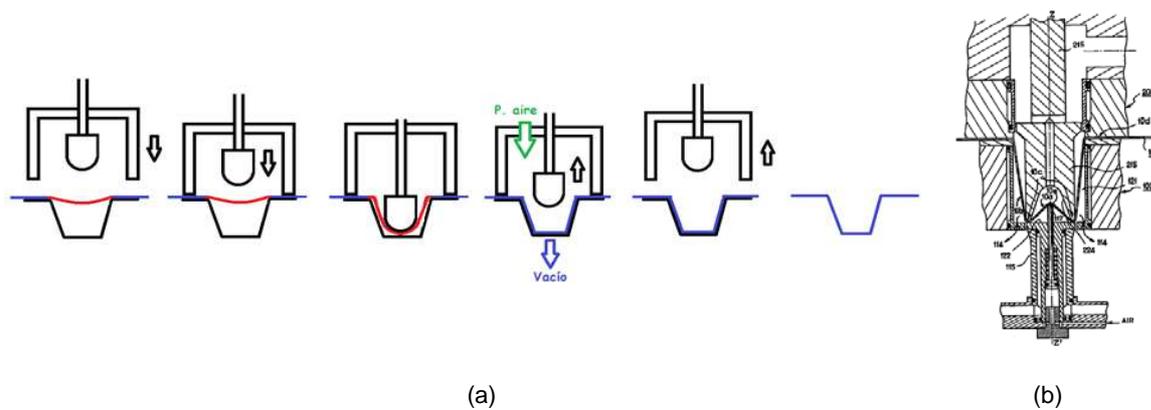
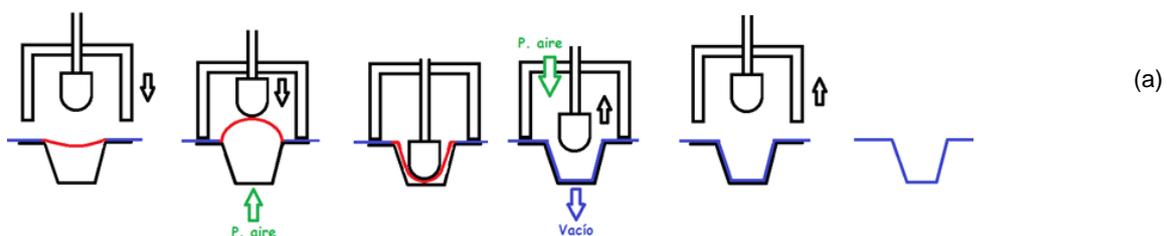


Fig. 1.19: (a) Presión asistida con pistón. (b) Thermoforming method and device, in particular for making a container [17]

1.1.2.2.6.- Presión asistida con pistón con estirado inverso.-

Como en el método anterior, pero con un paso previo de formación de burbuja con aire a presión desde el molde inferior, hasta que ésta toca al pistón que desciende entonces hasta el contacto con el molde hembra con la aplicación de presión de aire por el superior y vacío por el inferior.



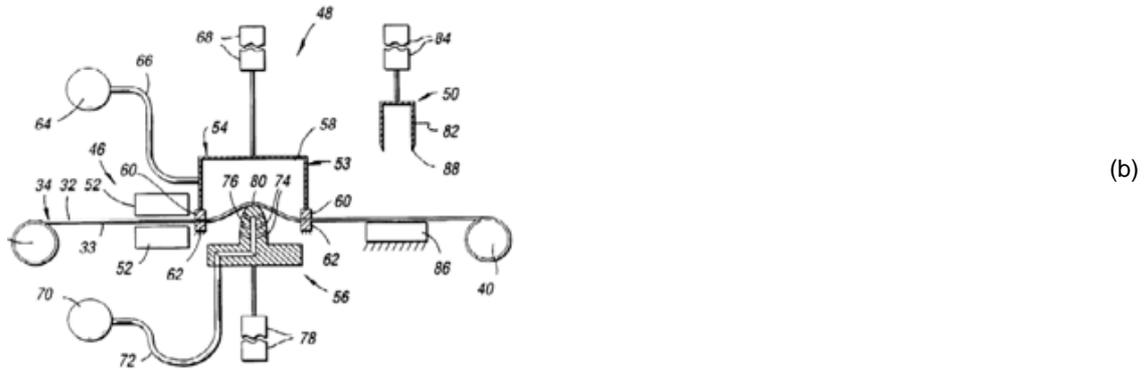


Fig. 1.20: (a) Presión asistida con pistón – estirado inverso. (b) Multi-layer container blow molding [18].

1.1.2.2.7.- Vacío con burbuja asistido por pistón.-

Como en el método anterior, pero sin que exista cámara superior para aplicar presión.

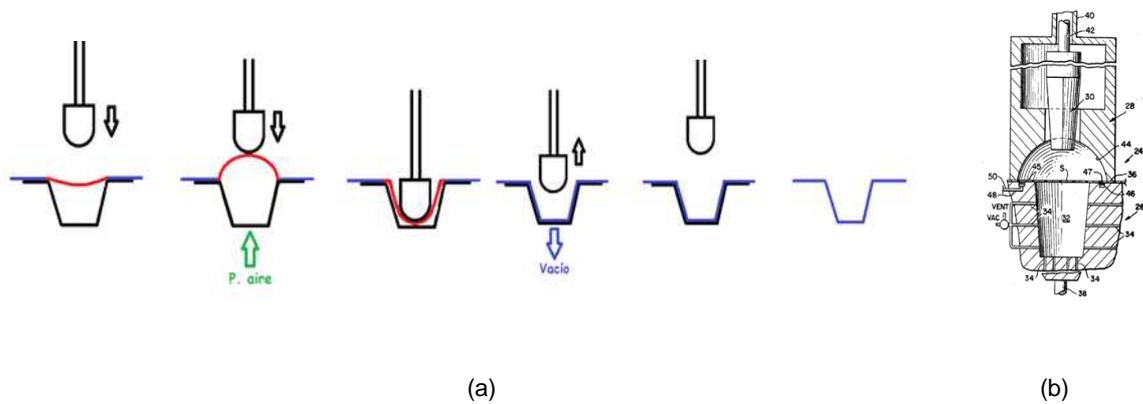


Fig. 1.21: (a) Vacío con burbuja asistido por pistón. (b) Apparatus for and method of thermoforming plastic cans [19].

1.1.2.2.8.- Termoformado por lámina apoyada.-

La lámina se posiciona dentro de una cavidad, sobre una placa perforada de temperatura controlada para calentar la lámina, al alcanzar la temperatura de moldeo el molde hembra se desplaza verticalmente hacia abajo hasta obtener el cierre hermético.

Seguidamente se aplica presión de aire por intermedio de las perforaciones de la placa hasta conformar la lámina según el molde.

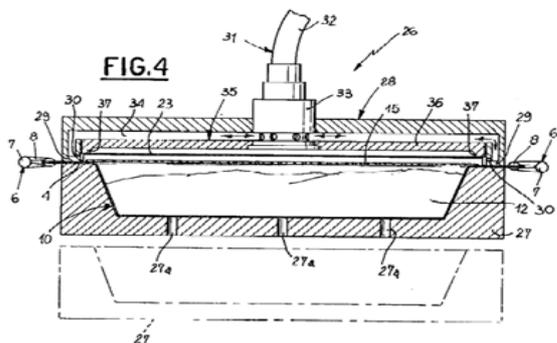
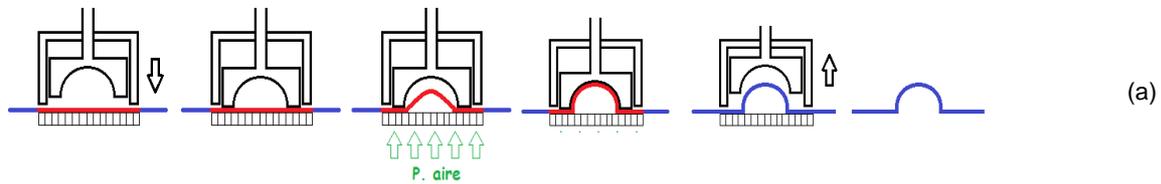


Fig. 1.22: (a) Termoformado por lámina apoyada. (b) Process for packing and preserving products which are perishable in the atmosphere, the relative apparatus and the package obtained [20].

1.2.- PROBLEMÁTICA DE LAS LIMITACIONES GEOMÉTRICAS DE LOS ENVASES.-

Como se ha definido en los apartados anteriores, existen numerosos tipos de proceso de termoformado con los cuales se pueden obtener diversidad de geometrías de envases, definidas por su funcionalidad, producto a envasar, rigidez estructural o simplemente, que genere un impacto visual diferenciador al consumidor. Todas estas características, son posibles conseguirlas en cualquiera de los tres grandes grupos de tipos de envases termoformados. En nuestro caso, el análisis sobre las limitaciones geométricas de los envases está enfocado en el envasado de productos alimentarios, del tipo de derivados lácteos y/o postres. Dentro de este grupo podemos identificar una pequeña cantidad de formas de envases que predominan en el mercado, con sus ligeras variables, envases cuyas geometrías comparten los mismos criterios de diseño,

como mantener una geometría “cónica” y libre de protuberancias en su superficie exterior, que eviten el desmoldeo del envase.

Existen sistemas de termoformado en el cual se valen de apertura total o parcial de molde y/o desplazamientos verticales o laterales de cavidades internas del molde, para termoformar envases cuyas geometrías pueden romper estos principios técnicos de conicidad y desmoldeo, pero sacrificando la uniformidad y el acabado estético de la cara visible del envase.

Estos sistemas de termoformados alternativos con apertura de molde, nos genera en el envase termoformado una protuberancia o línea de unión que se genera en la zona de apertura y/o cierre del molde, línea de desmoldeo (Fig. 1.23 (a)). Esta deformación del envase en muchos casos no es exagerado, sobre todo cuando el molde está en perfectas condiciones, según el desgaste del sistema y la falta de mantenimiento esta deformación se acentúa a tal punto que puede generar una arista, lo cual significa un riesgo de corte en la manipulación del envase.

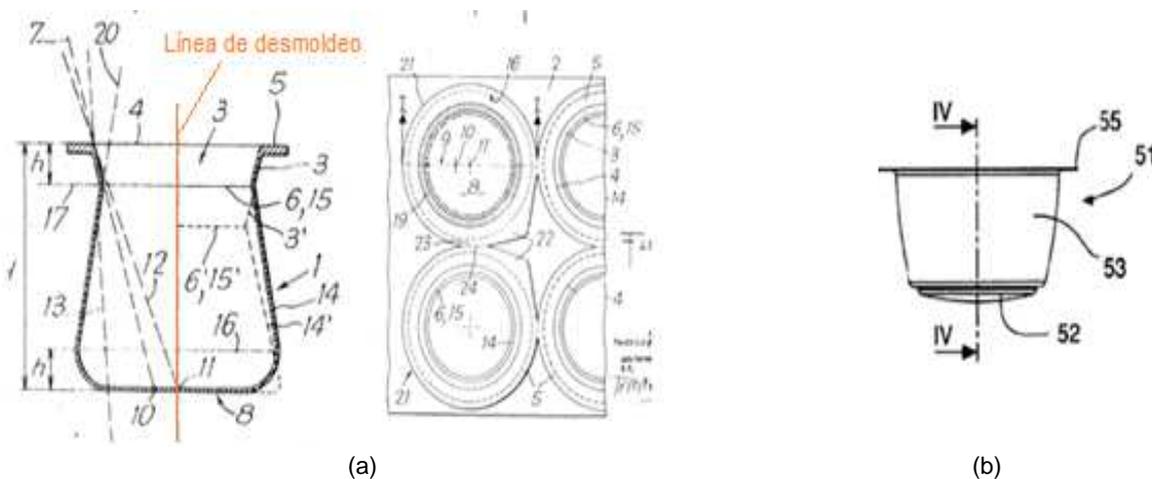


Fig. 1.23 (a) Línea de cierre de molde en envase termoformado con apertura de molde [63] (b) Línea de cierre de molde (IV) en envase termoformado con apertura de molde [64].

En la actualidad se puede asumir, como inercia, el envasar un determinado tipo de producto en una geometría determinada de envase, como el yogur en un envase cilíndrico con alguna variación en su base (Fig. 1.24 (a)), la gelatina y el flan en un envase facetado verticalmente con alvéolos redondeados (Fig. 1.24 (b)(c)(e)) u otros

productos en envases tipo combi con dos cavidades articuladas entre sí para una mezcla previa a su consumo (Fig. 1.24 (d)), semi-esféricos o lenticulares para productos como natillas, mus, etc. (Fig. 1.24 (f)) [21].

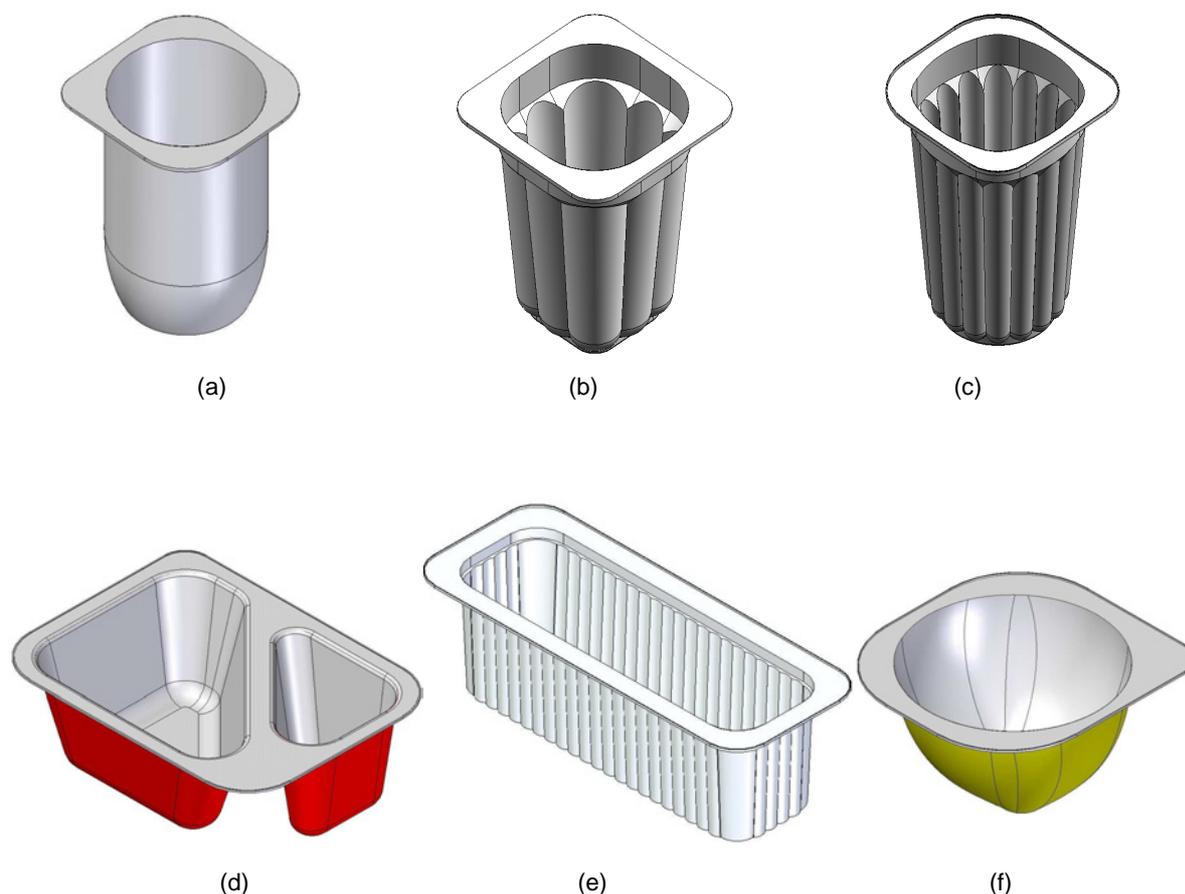


Fig. 1.24: (a) Envase termoformado para envasado de yogur. (b) Envase termoformado para envasado de flan – 125gr. (c) Envase termoformado para envasado de gelatina. (d) Envase termoformado tipo Combi (e) Envase termoformado para envasado de flan – 400gr. (f) Envase termoformado para envasado de natillas. [21].

Como consecuencia de la problemática expuesta anteriormente, así como la tendencia de uso de determinadas formas limitadas de envases para determinados productos. Se desarrollo el presente proyecto; que abarca desde el estado del arte, aplicación del QFD, diseño y fabricación del proceso de termoformado, diseño y fabricación del

prototipo de máquina y finalmente la obtención del termoformado de envase con geometría especial denominado “Tornado” (Fig. 1.25)



Fig. 1.25: Envase termoformado “Tornado”.

El proceso de termoformado diseñado y fabricado, parte del principio básico de desmoldeo por giro, es decir desenroscar el envase del molde de termoformado. Considerando este principio y estudiando las variables que pueden surgir a raíz de este nuevo proceso de termoformado, se han obtenido más de 20 variaciones geométricas del envase Tornado (Fig. 1.26). Actualmente el envase Tornado y sus variaciones están registrados, como Diseño Industrial, en la Oficina Española de Patentes y Marcas (http://www.oepm.es/es/disenos_industriales/resultados.html?consulta_simple=nac&campo_clave=DISE&consulta_clave=Mois%E9s+Espinoza - D0514094 / Título “Envase de productos alimenticios”)

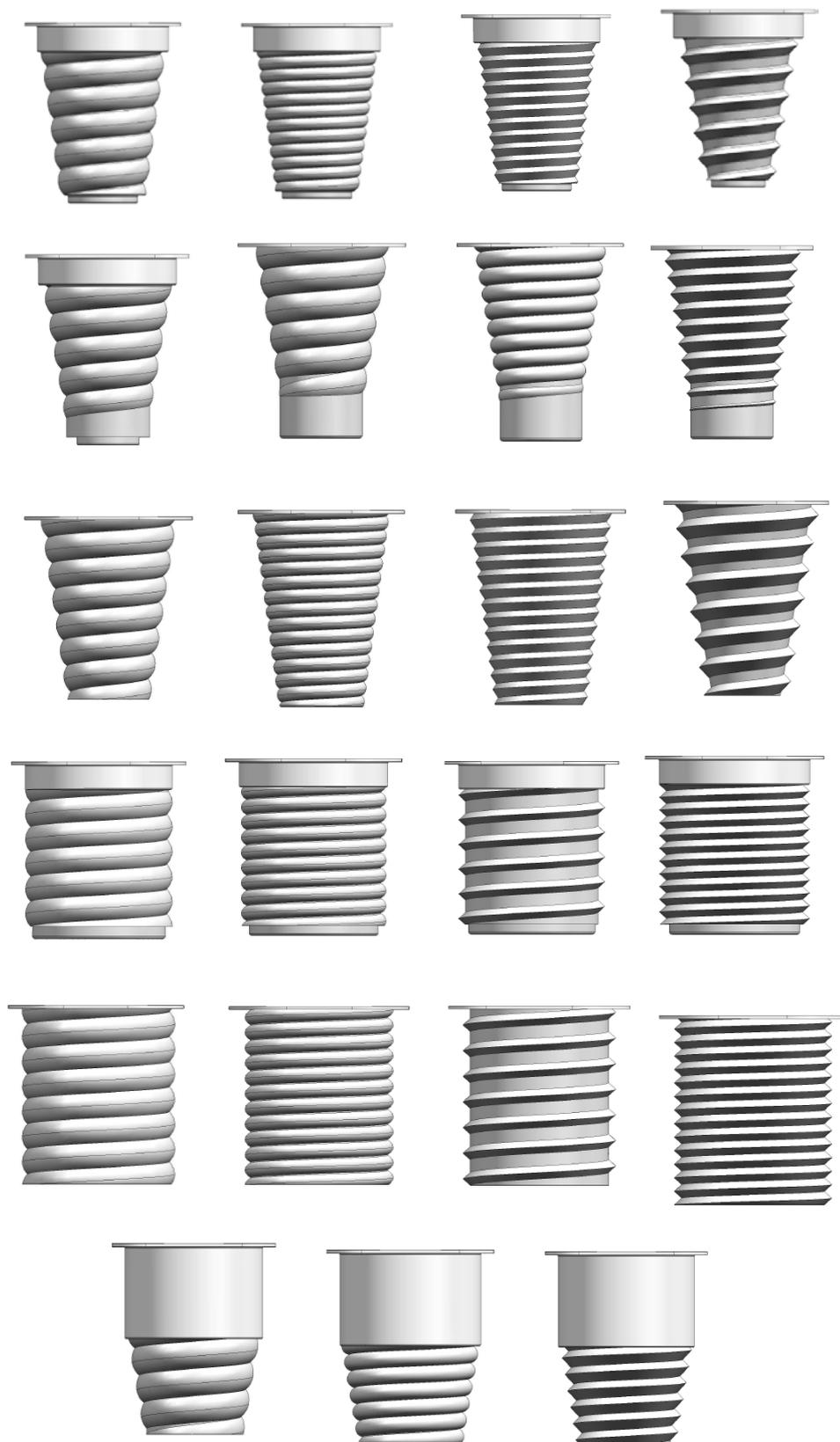


Fig. 1.26: Variaciones geométricas del envase "Tornado".

2.- OBJETIVOS, ANTECEDENTES Y ALCANCE.-

2.1.- Objetivos.-

El principal objetivo de la presente tesis doctoral es el diseño y fabricación de un prototipo de máquina de fácil operatividad y un costo de implantación y fabricación, a corto plazo amortizable. Con el cual podamos obtener envases termoformados de geometría especial, con un espesor de material uniforme, un correcto acabado en toda la superficie visible. Para asegurar el éxito y la consecución de éste objetivo se ha empleado la metodología de diseño de producto QFD.

2.2.- Antecedentes.-

La elaboración del presente trabajo está basada en trabajos previos, experiencias y necesidades vividas, desde distintas perspectivas, en el mundo del termoformado por más de 10 años. Asumiendo roles como, montador, responsable de puesta en marcha, asistencia técnica, diseñador, comercial, usuario e investigador. He solapado mi formación profesional, con la investigación en estudio de mercado, análisis de competidores y elaboración de trabajos monográficos relacionados al proceso de termoformado y envases. Como fruto de esta experiencia y de los trabajos de investigación realizados, la situación actual relacionada al termoformado es:

- Se han analizados mas de 80 modelos de máquina termoformadoras de mas de 19 fabricantes de máquinas y de 10 países distintos, se ha identificado las tecnologías que incorporan en su diseño, las limitaciones y ventajas de cada una de ellas y los tipos de envases planteados en el diseño de máquina, según la exigencia del mercado. (Fig. 2.1) [23].
- A solicitud de clientes, se han rediseñado la geometría de los envases, con la finalidad de renovar la imagen de un determinado producto, aunque éste siga siendo el mismo (Fig. 2.2 (a)). Se han desarrollados prototipos mecánicos para el termoformado de envases de diseño exclusivo a solicitud de clientes, actualmente industrializados, en los cuales se han tenido que incorporar criterios de diseño y tecnologías que tradicionalmente no se usan. (Fig. 2.2 (b)). Se han desarrollado prototipos para el termoformado de envases de prueba, que han servido para definir las características del envase definitivo (Fig. 2.2 (c)). Diseño

de envases según requerimientos del cliente enfocados al producto envasado (Fig.2.2 (d)) [21].

- Se cuenta con soluciones mecánicas para el termoformado de envases de geometría especial, utilizando moldes de termoformado dividido longitudinalmente en tres partes, en las cuales, la parte central era fija sin opción a movimiento, mientras que las dos restantes, una a cada lado, realizaban movimientos laterales alejándose de la parte central, permitiendo así el desmoldeo del envase sin ningún tipo de impedimento frente a las protuberancias que pueda tener éste y que lo caracterice como de geometría especial (Fig. 2.3) [22].

ANÁLISIS DE MÁQUINAS COMERCIALES					
ITEM	FABRICANTE		MODELO	TIPO DE ENVASE	
	NOMBRE	PROCEDENCIA		FLEXIBLE / SEMIRÍGIDO	RÍGIDO
1			R120	X	
2			R145	X	
3			R245	X	X
4			R535	X	
5			OPTIMUS	X	
6			PRIMUS	X	
7			MULTIPOWER	X	
8			ESPRINTER	X	
9			Quick-Vac 2000-322	X	
10			Quick-Vac 2000-422	X	
11			MOBI-F	X	
12			MOBI-R	X	
13			MOBI	X	
14			AVANT	X	
15			PREMIUM	X	
16			COSMOS	X	
17			TFS 200	X	
18			TFS 300	X	
19			TFS 400	X	
20			TFS 500	X	
21			TFS 600	X	
22			TFS 700	X	
23			TFD 100		X
24			TFD 300		X
25			TFD 500		X
26			TFD 700		X
27			TFD 900		X
28			TF-MAX-LIQ		X
29			BAB 4		X
30			BAB 6		X
31			Izi A		X
32			FS 910	X	
33			FS 930	X	
34			FS 950	X	
35			EP 9000		X
36			TVP 64	X	
37			TVP 67	X	
38			FV 64	X	
39			FV 67	X	
40			FV 35	X	
41			FVP 35	X	
42			FV35R	X	
43			EASYFORM	X	
44			EASYFORM 420	X	
45			FORMPACK F0	X	
46			FORMPACK F1	X	
47			FORMPACK F4	X	
48			FORMPACK F5	X	
49			E 40	X	
50			T 45	X	
51			T 55	X	
52			ENTRI	X	
53			Z-Pack	X	
54			Z 105	X	
55			BPZ 400	X	
56			BPZ 400 Max	X	
57			BPZ 400 Medical	X	
58			BPT 20	X	
59			BPT 25	X	
60			BPZ 26 Max	X	
61			BPZ 37 Max	X	
62			BPT 26-37 Max-L		X
63			BPT 26-37 Max-A		X
64			MF 500E	X	
65			MF 1000E	X	
66			FRS 17	X	
67			FRS 19	X	
68			FRS-L 16 / 26	X	
69			FRS-L 25 / 26	X	
70			FRS-L 25 / 40	X	
71			SH MEI	X	
72			YUEDONG		X
73			DXR-2000HY		X
74			DXR-12000ZM		X
75			DXR-2000HB		X
76			DXR-4000HB		X
77			BTCN Mini Dosis		X
78			BTC Mini Dosis		X
79			BT 4x2		X
80			SIGNA Decort		X
81			BT Decort		X
82			SIGNA BT 41 Decort		X

Fig. 2.1: Cuadro resumen de algunos de los fabricantes más importantes de máquinas termoformadoras en América del Sur, Europa y Asia. [22].



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 2.2: (a) Variación de geometría de envase. (b) Prototipos para termoformado de envases y posterior industrialización. (c) Prototipos para termoformado de envases usados para definir características del envase final. (d) Diseño de envases en función a producto a envasar. [21].

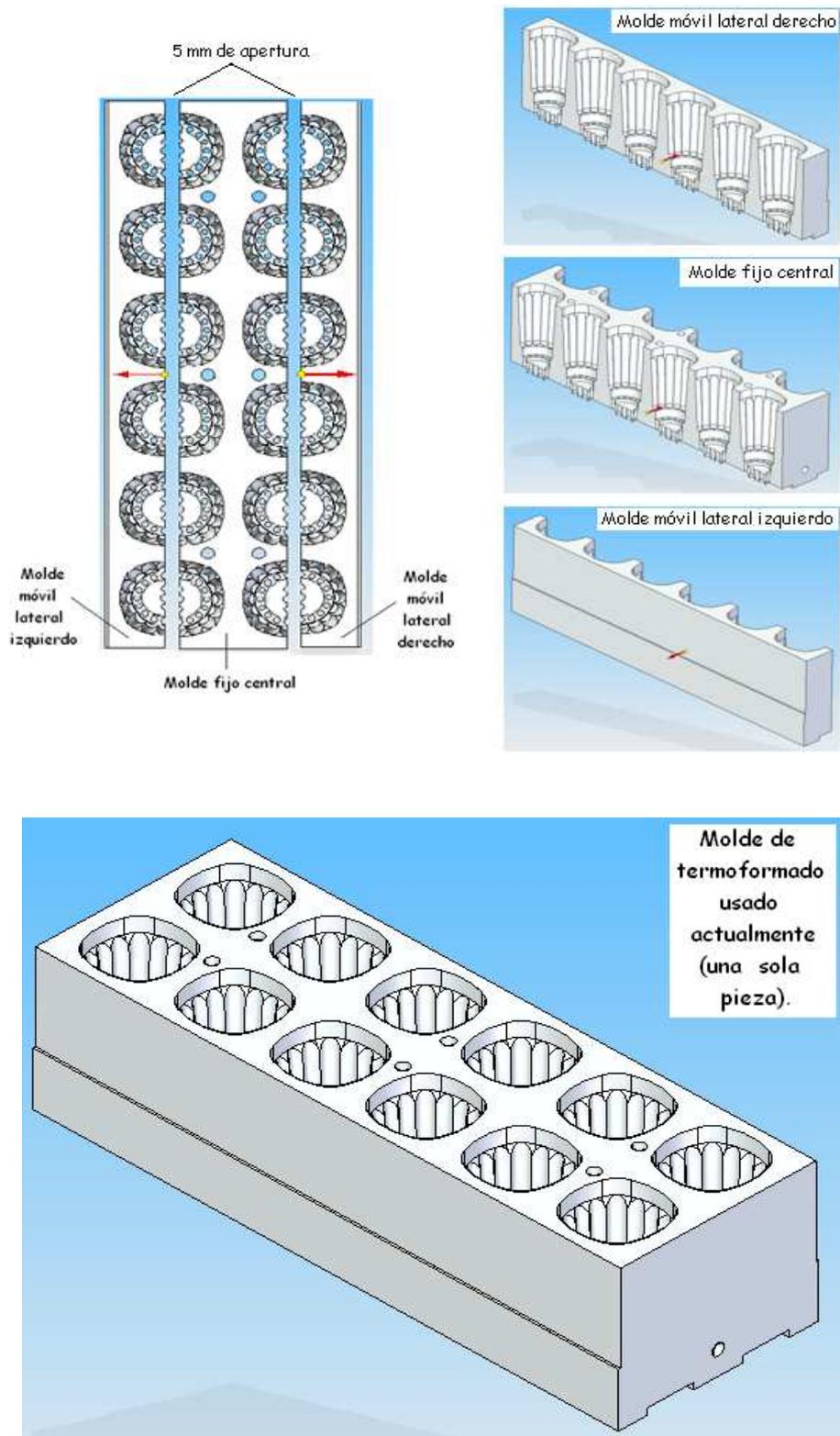


Fig. 2.3: Propuesta de sistema de termoformado de envases especiales con apertura lateral de molde. [22].

2.3.- Alcance.-

El alcance esperado, según el desarrollo del presente trabajo, se puede definir en dos aspectos:

- Alcance industrial.- Es obtener un prototipo a nivel de laboratorio, basado un sistema mecánico/neumático o servo asistido, con el cual podamos termoformar envases de geometría especial. El prototipo desarrollado debe ser lo suficientemente válido para su posterior industrialización e incorporación en el diseño de estaciones de termoformado de máquina nuevas o de fácil adaptación en las modificaciones de máquinas en uso.

- Alcance de investigación.- El conjunto del presente trabajo como el estado del arte, aplicación del QFD, así como los prototipos obtenidos y el análisis e identificación de futuras líneas de investigación, generarán un conocimiento científico que servirán como antecedentes para futuras investigaciones.

3.- ESTADO DEL ARTE.-

La diversidad y gran uso del proceso de termoformado alientan a los investigadores a desarrollar formas más sofisticadas y rentables para el proceso de termoformado. Un proceso de termoformado consta de dos fases que se nombran como fase de calentamiento, fase de formación y solidificación. El primero y más importante parte de un proceso donde se calienta la lámina a temperatura de reblandecimiento, que se llama fase de calentamiento. El segundo corresponden a la fase de formado del envase y la solidificación del film termoformado por acción del enfriamiento. Para los investigadores es un tema importante desarrollar métodos eficaces para controlar las variables que intervienen en estas fases, métodos que generalmente están basados en principios matemáticos y que se deben complementar con el desarrollo de nuevos sistemas mecánicos, eléctricos y de control para obtener sistemas mas sofisticados, rentables e innovadores en el proceso de termoformado. [3].

3.1.- Desarrollo e investigaciones relacionadas a la estación de precalentamiento/termoformado y a envases con geometría especial.-

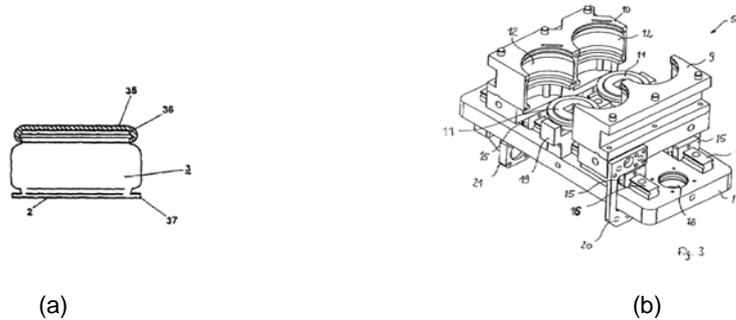
En el proceso de análisis de todos aquellos desarrollos e investigaciones contemplados en el estado del arte, hemos podido identificar, procesos de termoformado y envases que podemos considerarlo como la competencia más cercana que tendríamos a nuestro proceso de termoformado y envase que queremos diseñar.

3.1.1.- Proceso de termoformado mediante la apertura de molde.-

El proceso de termoformado mediante la “apertura de molde” nos proporciona la posibilidad de obtener envases con geometrías especiales, es decir, con protuberancias o líneas estéticas del envase, que dibujan siluetas (Fig. 3.1 (a)) que no sería posibles obtener mediante el proceso de termoformado tradicional.

El proceso de termoformado mediante la apertura de molde, se basa fundamentalmente en que el molde está formado por dos partes simétricas (longitudinal o transversalmente dispuestas), las cuales al estar cerradas forman la geometría deseada del envase. Para

poder realizar los movimientos sincronizados con las demás variables que intervienen en el termoformado del film, se valen, generalmente, de sistemas mecánicos y neumáticos los cuales se encargan de la apertura y cierre del molde (Fig. 3.1 (b)).



En la figura 3.1 (c), se observa como es la secuencia de termoformado con este sistema. De izquierda a derecha, la estación de termoformado se encuentra en reposo, con el molde abierto y desplazado verticalmente hacia abajo (posición 1), cuando el film se encuentra precalentado previamente (en la estación de precalentamiento), el molde se desplaza verticalmente hacia arriba realizando simultáneamente el movimiento lateral de cierre de molde, una vez llegado a su posición de trabajo, cerrando herméticamente con la cavidad superior (campana) de la estación de termoformado (posición 2), procede a moverse verticalmente el punzón, que es la pieza encargada de empujar la superficie del film a termoformar, desplazándolo hasta una ubicación determinada en la cual intervienen en el proceso presión de aire y/o vacío hasta expandir el film en las paredes internas de molde (posición 3). Una vez que el envase ha sido termoformado, se inicia el movimiento lateral de apertura de molde hasta que libere el envase e inicia el movimiento vertical hasta la posición de reposo de la estación de termoformado (posición 4).

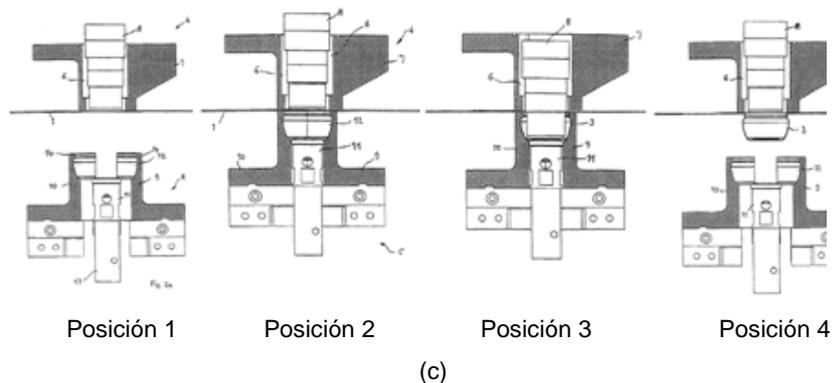


Fig. 3.1 (a) Envase termoformado de geometría especial. (b) Sistema mecánico de termoformado con apertura de molde. (c) Proceso de termoformado con apertura de molde [60].

Existen otros sistemas mecánicos, que manteniendo el mismo criterio de diseño que el descrito anteriormente, pueden termoformar envases de geometría especial. En la figura 3.2, se puede apreciar, el film a precalentar (10), la estación de precalenamiento (12), el sistema de apertura de molde (60A y 60B), así como las 2 partes del molde (30B y 30C), la campana de termoformado (44), el punzón (28), la entrada de aire para el termoformado (27) y finalmente se observa el envase termoformado (64). En la figura 3.3, observamos: el film a precalentar (10), la estación de precalentamiento (12), el sistema de apertura de molde (22, 22A y 22B), el molde (21), la campana de termoformado (26), el punzón (28), la entrada de aire (23 y 24) y finalmente el envase termoformado (29). Un detalle importante a resaltar en los envases termoformados con apertura de molde, es la protuberancia o línea de unión que se genera en la zona de apertura y/o cierre del molde.

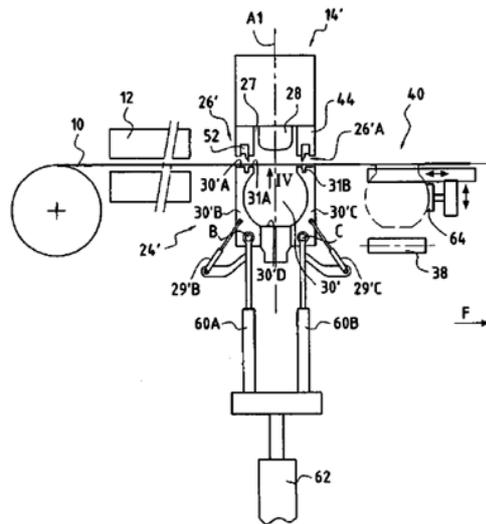


Fig. 3.2 Sistema de termoformado con apertura de molde [61].

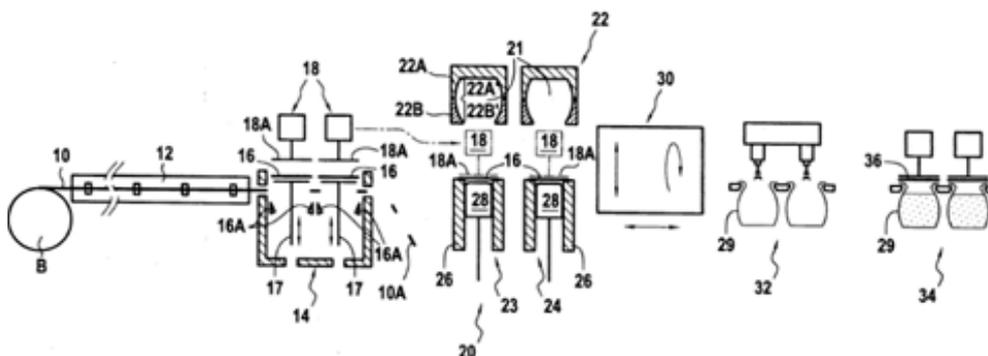


Fig. 3.3 Sistema de termoformado con apertura de molde [62].

3.1.2.- Proceso de termoformado mediante la apertura parcial de molde.-

Existen sistemas de termoformado con apertura de molde, en los cuales hacen uso de esta característica del sistema para una apertura parcial de molde. La apertura solamente se realiza en la parte correspondiente a aquella geometría del envase que requiere liberarse para el desmoldeo de la pieza. En la figura 3.4, observamos como el molde de termoformado se divide en dos partes, la parte superior (44), en donde se termoformará el cuerpo del envase de fácil desmoldeo (62), mientras que en la parte inferior, el molde está dividido en tres partes, una central (46) y dos laterales (48), los cuales mediante un movimiento lateral sincronizado, realizado neumáticamente (64 y 66), liberaría el envase termoformado.

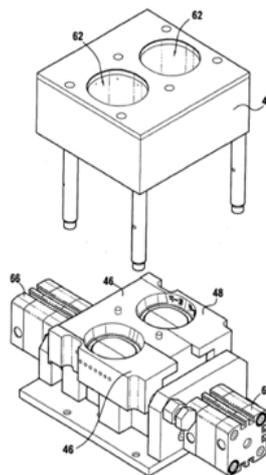


Fig. 3.4 Sistema de termoformado a molde abierto de apertura parcial [65]

3.1.3.-Proceso de termoformado mediante la apertura parcial y desplazamientos verticales o laterales de cavidades internas del molde.-

Algunos de los sistemas de termoformado con apertura parcial de molde, se combinan con movimientos verticales de determinadas componentes del molde (100) y movimientos laterales (108) (Fig. 3.5 (a)) generando una forma especial del envase y facilitando el desmoldeo. En algunos moldes, dependiendo del tipo de envase, solo basta con la incorporación de movimientos verticales en la base del molde para obtener los mismos resultados (Fig. 3.5 (b) (c)).

3.1.4.-Proceso de termoformado mediante la disposición especial de las partes que conforman la estación de termoformado.-

Con la finalidad de obtener envases de geometría especial (de difícil desmoldeo), existen estaciones de termoformado diseñadas de tal forma que sus partes están dispuestas de forma especial, desplazadas un ángulo determinado respecto al eje Z. En la figura adjunta podemos identificar; film a precalentar (10), estación de precalentamiento (11), molde de termoformado (12), campana de termoformado (8), punzón (13), envase termoformado (1) (Fig. 3.7 (a)). El envase termoformado tiene una geometría especial (Fig. 3.7 (b)), ya que en un sistema de termoformado tradicional mediante movimiento vertical (no desplazado al eje Z) de la estación de termoformado, no se podría realizar el desmoldeo correctamente.

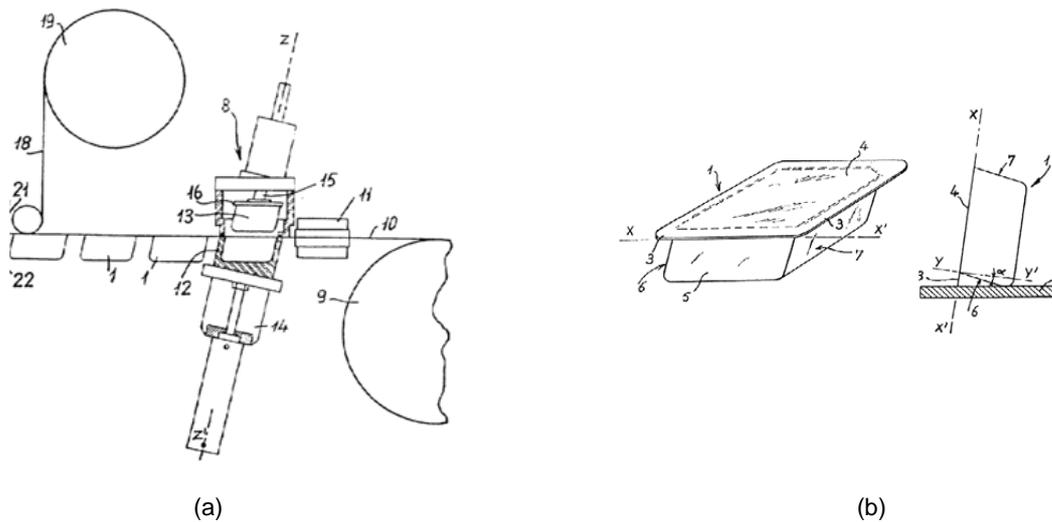


Fig. 3.7 (a) Estación de termoformado de disposición inclinada. (b) Envase termoformado de geometría especial [71].

3.2.- Desarrollo e investigaciones relacionadas al QFD.-

Siendo el QFD un método para el diseño de productos y servicios, para nuestra necesidad se ha enfocado la búsqueda de desarrollos e investigaciones a la aplicación exclusiva en el diseño de productos.

3.2.1.-Aplicación del QFD para el diseño de máquinas relacionadas a productos alimentarios.-

La aplicación del método de Quality Function Deployment (QFD) para desarrollar productos alimenticios ha sido reportado en una serie de estudios. Sin embargo, el QFD fue diseñado originalmente para otros sectores industriales, y como tal, algunos ajustes son necesarios para una aplicación efectiva en el sector de la alimentación. En este contexto, en la publicación científica “A New Device for Dosing Additives in the Food Industry Using Quality Function Deployment” [73] se busca demostrar una aplicación de QFD en el desarrollo de un producto relacionado al procesamiento de un producto orgánico. Actualmente existe una creciente demanda mundial de este tipo de productos en los últimos años. En esta publicación se plantea un modelo conceptual QFD que consta de tres matrices que se construyeron para desarrollar un dispositivo automático para el suministro de aditivos alimentarios orgánicos para conservas, especialmente en forma de tabletas. La adaptación principal está en la primera matriz, que incluye los principales actores que intervienen en la planificación del producto. Como los requerimientos del cliente y su priorización, identificación y análisis técnico de los competidores, factores de mejora frente a la competencia y aspectos decisivos para la venta (marketing).

3.2.2.-Aplicación del QFD para el desarrollo de productos orgánicos.-

En la publicación científica “Application of Quality Function Deployment for the development of an organic product” [74] se plantea una aplicación del QFD en el diseño de un producto orgánico. Este tipo de aplicación QFD no se consolida empíricamente en la literatura. Por lo tanto, este estudio podría ser considerado como un trabajo piloto. Un modelo conceptual QFD que consta de cuatro matrices se construyó para desarrollar una gelatina de fruta orgánica. La adaptación principal está en la primera matriz, que incluye los principales actores en la cadena de suministro. Como ingredientes de alimentos tienen variaciones naturales en la composición, las interacciones entre los ingredientes deben ser considerados. Además, la influencia de los procesos de producción en las propiedades funcionales del producto y los efectos de la cadena de suministro de los ingredientes asegurar que este tipo de desarrollo de productos tiene

diferentes variables en comparación con otras aplicaciones QFD para productos no alimenticios. Por lo tanto, el modelo conceptual utilizado en este estudio puede servir en el desarrollo de otros productos alimenticios. Este estudio afirma que el elemento de la responsabilidad socio-ambiental es esencial para desarrollar un producto orgánico porque esta dimensión compone un tercio del peso relativo de la calidad esperada.

3.2.3.-Desarrollos referidos a la importancia de las necesidades o requerimientos de los clientes.-

Para el desarrollo de productos atractivos y competitivos, se debe considerar paralelamente la relación calidad – precio. Sin embargo, la definición de calidad desde la perspectiva de los clientes y el control durante todo el proceso de desarrollo de productos es una tarea confusa y difícil. Especialmente para los productores de bienes de consumo duraderos intercambiables, que son, al mismo tiempo, la lucha contra la presión de costes y acortar los ciclos de vida del producto y la tecnología. Para resolver este dilema, es necesaria una metodología adecuada para mejorar la orientación al cliente y la sistemática para integrar los requisitos del cliente en el proceso de desarrollo de productos. El QFD y sus derivados representan las herramientas más adecuadas en este tipo de desarrollos sistemáticos de producto de calidad enfocado y orientado al cliente. Sin embargo, dependen en gran medida de la calidad de sus aportaciones. En la publicación científica “Sensory QFD: Matching Sensation with Measurement” [75] se plantea, partiendo de que la "resolución" de las necesidades es crucial para el resultado de la aplicación, un método de encuesta apropiado para identificar los requerimientos en relación con las sensaciones que se pueden encontrar con la ciencia de los alimentos. Estudios sensoriales para la designación y la discriminación de las impresiones de sentido único se utilizan para evaluar y mejorar nuevos productos, por lo general en relación con el gusto y el olfato. Esta investigación presenta la integración de Análisis descriptivo (DA) y QFD para el caso de los hápticos (conjunto de sensaciones no visuales y no auditivas que experimenta un individuo). Junto al hecho de que DA es bastante nuevo a la investigación de hápticas, la integración requiere un juego de pasos y una combinación de enfoque cuantitativa (DA) y cualitativa (QFD). Sin embargo, este procedimiento trazable y repetible permite un despliegue de recursos impacto accionado y, por esta razón, un proceso de desarrollo de producto más eficaz, así como una mejora sostenible de la calidad percibida del producto. (Fig. 3.8).

La calidad percibida es el resultado de un proceso de comparación cognitiva y emocional entre las expectativas conscientes e inconscientes del cliente en cuanto a criterios como el precio, el diseño, la imagen de marca o experiencias con los productos y las características de los productos técnicos realizados en situaciones específicas de uso. En el futuro, una diferenciación de los competidores sólo se puede lograr con los productos que no sólo mantienen alta calidad (técnica), sino que también son percibidas como tales por el cliente [76].

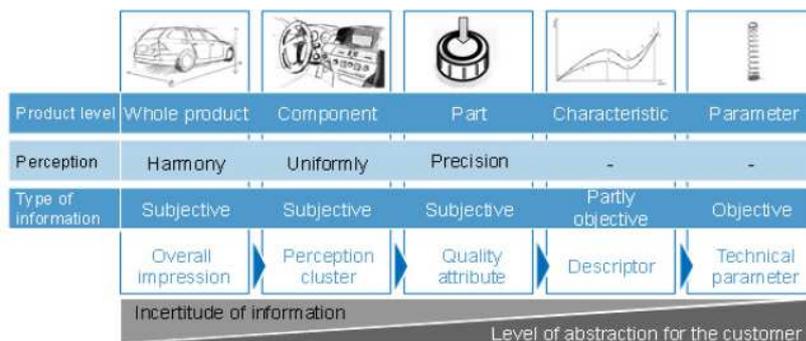


Fig. 3.8 Estructura de la Calidad Percibida [75].

3.2.4.- Aplicación complementaria entre el QFD y otras herramientas.-

El rigor y el formato gráfico han probado que QFD es un método efectivo mediante el cual los equipos de diseño de productos pueden organizar y relacionar los atributos de los productos. Los atributos de productos que están negativamente correlacionados son inherentes a los conflictos en los sistemas. QFD es una metodología que no posee una habilidad intrínseca para ayudar a los equipos de desarrollo de productos a resolver esos conflictos. Por otra parte TRIZ ha demostrado ser muy prolífico en formular soluciones a conflictos que pueden por tanto evaluarse para su aplicabilidad en el contexto del proyecto. La integración de las dos técnicas, TRIZ y QFD, tiene sentido porque son complementarias en naturaleza. En la publicación científica "Using integrated quality function deployment and theory of innovation problem solving approach for ergonomic product desing" [77], se propone un uso complementario entre los métodos del QFD, de la teoría de resolución de problemas inventivos "TRIZ" y el método para la toma de decisiones Fuzzy, para el diseño de un producto ergonómico. (Fig. 3.9).

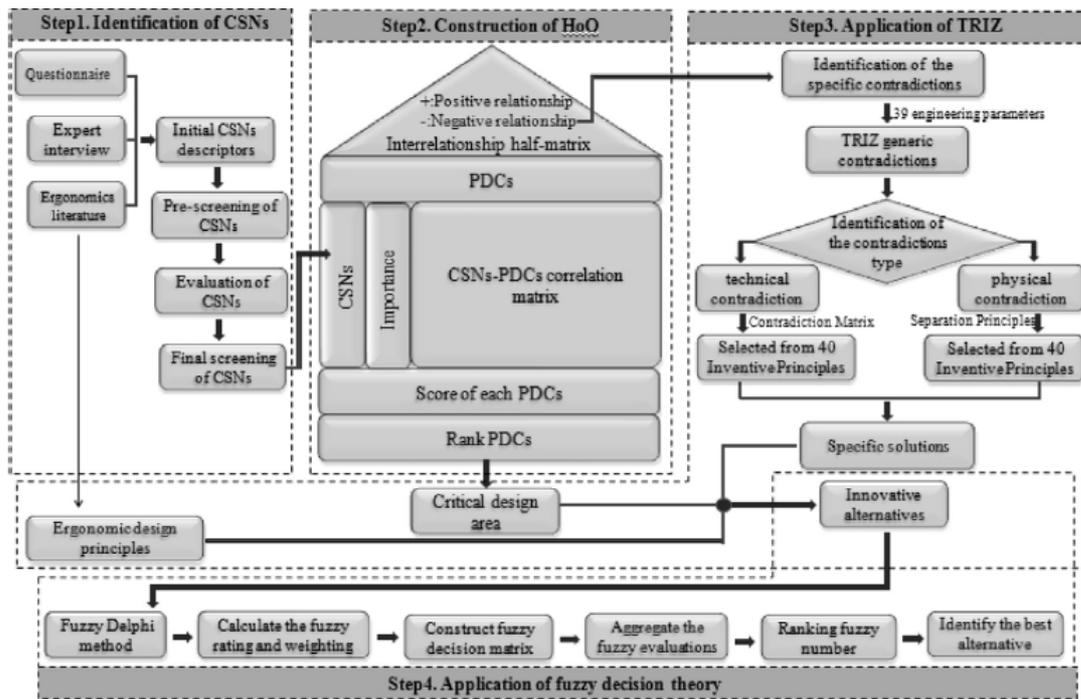


Fig. 3.9 Un modelo de integración para el diseño de un producto ergonómico [77].

En determinadas aplicaciones del QFD de diseño de producto, existen situaciones en las cuales para identificar las relaciones vagas e inexactas funcionales entre los requisitos de un cliente y las características de ingeniería, recurren al enfoque de Regresión Lineal Difusa (Fuzzy Lineal Regression – FLR), debido a sus ventajas de objetividad y realidad. El valor de “h” que es un parámetro fundamental en el procedimiento del modelo de FLR, que normalmente se establece por el equipo de diseño de forma subjetiva, en el trabajo de investigación “Fuzzy lineal regression model for QFD using optimizad h values” [78], se propone un enfoque sistemático utilizando los modelos de FLR conectados con valores optimizados h para identificar las relaciones funcionales en QFD, donde los coeficientes son asumidos como números difusos triangulares simétricas. Los valores de h en los modelos de FLR se determinan de acuerdo con el criterio de maximizar las credibilidades sistema de los modelos de FLR.

4.- DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD – QFD.-

La competitividad global se ha convertido recientemente la mayor preocupación de muchas empresas, obligadas a buscar un menor coste y mayor calidad de sus productos. Para lograr eso, muchas empresas enfrentan inevitablemente otro desafío - cómo responder rápida y eficazmente a diversas y rápidamente cambiantes demandas de los clientes. El desarrollo de nuevos productos que cumple diversas demandas de los clientes no solo es crítico para el éxito de un producto, sino también para la supervivencia de una empresa. [26].

El QFD – Quality Function Deployment (el despliegue de la función de la calidad) es un método de diseño de productos y servicios que recoge la voz del cliente y la traduce en la voz del ingeniero [27], mediante la secuencia de pasos sucesivos, a características de diseño y operación que satisfacen las demandas y expectativas del mercado. Su uso original fue como herramienta de diseño de nuevos productos, el QFD se convirtió en un elemento integrador de las distintas áreas de la firma como; marketing, ingeniería y operaciones, y de distintas actividades, como la gestión de la calidad. Podemos decir que marketing escucha la voz del cliente, ingeniería la incorpora en el diseño de producto y servicios, y finalmente operaciones los produce de modo rentable y competitivo.

El despliegue de la función de calidad (QFD), se originó en Japón en 1960, conocida en aquel país como TQC – Total Quality Control. En sus inicios el método no lograba consolidar el concepto de calidad del diseño. Sin embargo, en el año 1972, en el astillero de Kobe de Mitsubishi Heavy Industries, con Shigeru Mizumo y Yasushi Furukawa trabajando como consultores externos, desarrollaron la matriz de calidad, que sistematizaba la relación entre las necesidades de los clientes y las características de calidad incorporadas en los productos; la matriz de la calidad constituye hoy el núcleo del QFD. En 1975, la Sociedad Japonesa de Control de Calidad (JSQC) estableció un comité de estudio del QFD para formular su metodología, y luego de 13 años de esfuerzo, publicó un estudio sobre las aplicaciones del QFD en 80 empresas japonesa [28]. La metodología de QFD se ha aplicado con éxito en muchas otras industrias, incluyendo el proceso de desarrollo de software [29] [30], la gestión de la cadena de suministro [31] [32], la selección y asignación de proyectos [33] [34] [35], la inversión [36], el impacto ambiental de los diseños y tendencias ecológicas [37]. El núcleo idea

de QFD sugiere que la satisfacción del cliente es la principal fuente de competitividad de los productos [38] [39] [40] [41] [42] [43], y los productores deben diseñar o mejorar las prestaciones de los productos basados en los requisitos detallados y cuantitativos de las características técnicas de los productos que se transfieren desde la voz ambigua y cualitativa de los clientes. Esta transformación es la clave y el fundamento de QFD, y por lo general se logra basado en la identificación de las relaciones funcionales entre las necesidades de los clientes (CRS) y las características de ingeniería (EC) [44] [34] [45] [46].

4.1.- Conceptos y beneficios de la matriz de la calidad.-

La relación entre los requerimientos del cliente (RC) con las características técnicas (CT) (necesarias para satisfacer dichas necesidades), planteadas en una matriz son el núcleo del QFD. Estas relaciones se presentan en forma de una tabla elaborada llamada “matriz de calidad”. Tomados en su conjunto, los RC definen la calidad de un producto y son las expresiones que los clientes utilizan para describir los productos y sus características deseables. Asociada con cada CT existe un valor, que se usa para determinar el grado de satisfacción de los clientes con cada uno de sus requerimientos. Esta medida es fundamental para la mejora continua.

En la matriz de calidad el eje vertical corresponde a los RC mientras que las CT al eje horizontal. Tanto los primeros como los segundos suelen ser numerosos y se agrupan en varios niveles, según su grado de abstracción. Esta multiplicidad no es caprichosa. El gran número de las RC corresponde a las variadas dimensiones de la calidad [47] y la cantidad de las CT es consecuencia de la creciente complejidad tecnológica de los productos modernos.

El número de las CT no generalmente contribuyen a conformar un RC dado, debe indicarse la relación entre las distintas combinaciones de RC y CT. Esta relación se muestra en los cruces de las filas y columnas de la matriz, con símbolos que reflejan la intensidad del vínculo. Una adecuada comprensión de las relaciones entre RC y CT facilita el balance entre las demandas de los clientes con el potencial tecnológico de la

empresa, este balance ejerce un impacto en la ecuación económica. [48]. La matriz de la calidad contiene otros elementos importantes:

- Una columna con la prioridad que los clientes asignan a cada RC.
- Una columna que compara, para cada RC, a los productos de “nuestra empresa” con los de la competencia, según la evaluación del cliente.
- Una fila que pondera numéricamente la importancia de cada CT con respecto a los demás.
- Una evaluación técnica comparativa de las CT de “nuestro producto” con las CT de uno o varios productos de la competencia.
- Un valor objetivo fijado para cada CT.
- Un panel triangular que indica la correlación existente entre las distintas CT.

4.2.- Ventajas de la aplicación del QFD.-

4.2.1.-Innovación del producto.-

Una de las ventajas competitivas es la aportación innovadora en el producto. Para obtener estas ventajas nos valemos del análisis y la clasificación de las CT en consecuencia a las RC para la detección de ventajas que merezcan ser explotadas y llegar a descubrir mejoras o carencias en nuestros productos que conlleven al fomento de la innovación.

4.2.2.-Herramienta efectiva del marketing.-

Los Requerimientos de los Clientes (RC) son una síntesis de los principales componentes de la voz del cliente y una eficaz ayuda para comprender mejor las necesidades de los mercados. Esto permite realizar acciones de marketing más efectivas. Conforme vamos elaborando la matriz de calidad y especialmente la correspondiente RC ayuda a comprender a los clientes actuales y potenciales, así como sus expectativas y exigencias.

4.2.3.-Comunicación interfuncional.-

El considerar las CT más relevantes en la matriz, facilita la comunicación interfuncional, para el departamento de ingeniería u oficina técnica, la matriz resume información que de otra forma permanecería dispersa y permite captar de un golpe de vista un sinnúmero de relaciones entre variables a veces interrelacionadas cuyo manejo es responsabilidad de distintas áreas. La matriz ofrece una apreciación balanceada de todas las relaciones a considerar en el diseño del producto e indica a cada departamento (marketing, ingeniería, gerencia, etc.) que hacer y abre la posibilidad de un debate técnico sobre alternativas y prioridades. Los conflictos interfuncionales se presentan con frecuencia en la toma de decisiones. Consideremos el ejemplo de una fábrica de luminarias, el departamento comercial, tomando como referencia sus análisis de mercado, exige una luminaria con prestaciones lumínicas y eficiencias superiores a la competencia y a un precio menor que la misma, el departamento de producción exige que dicha luminaria sea fabricada en una línea de fabricación automatizada y que sus componentes sean, en lo posible, los menos posible con la finalidad de reducir el tiempo de fabricación. En la oficina técnica, donde se diseñará dicha luminaria, se debe contemplar todas estas exigencias o RC y valorar según el criterio de cada uno de los departamentos las relaciones que prevalecen sobre otras, para que en función a ellas se consideren como exigencias de diseño.

4.2.4.-Determinación de las prioridades de mejora continua.-

Con la matriz de calidad se identifican rápidamente las prioridades de la mejora continua. Se llega a ver, sin mayor esfuerzo, qué variables determinan la calidad de un producto o servicio. Además, sobre la base de las ponderaciones de las CT, los departamentos responsables pueden identificar la eventual falta de balance entre ellas, como sería el caso si en un envase con óptimo grado de estanqueidad se presentaran instrucciones difíciles de leer para el paciente.

4.2.5.- Análisis de costo y beneficio.-

El detenido análisis de los costos y beneficios que brinda el estudio de la relación entre RC y CT, así como el uso de otras matrices derivadas, permite mejorar el rendimiento económico y financiero de la empresa.

5.- METODOLOGÍA – APLICACIÓN DEL QFD PARA EL DISEÑO DE ENVASE DE GEOMETRÍA ESPECIAL.-

5.1.- Diseño de la metodología.-

Para el desarrollo del proyecto “Aplicación de la técnica QFD para el diseño innovador de un envase termoformado”, se han elaborado diagramas y gráficos, los cuales nos permiten una ejecución del proyecto de una forma mas estructurada, organizada y controlada en tiempos de ejecución y resultados.

5.1.1.-Estructura de la descomposición del proyecto.-

La Estructura de la Descomposición del Proyecto (EDP) o Work Breakdown Structure (WBS) es una herramienta que define un proyecto y grupos de elementos de trabajo discretas del proyecto de una manera que ayuda a organizar y definir el alcance total de trabajo del proyecto. Un elemento WBS puede ser un producto, datos, un servicio, o cualquier combinación. WBS también proporciona el marco necesario para la estimación de costos detallada y control, además de proporcionar orientación para el desarrollo de programación y control. Es una herramienta dinámica y puede ser revisado y actualizado según sea necesario por el director del proyecto. Cada nivel descendente de la EDP representa un mayor nivel de definición detallada del trabajo del proyecto. Aunque un WBS se puede representar de manera que se verá como un organigrama, no es un organigrama, la EDP define un proyecto y grupos los elementos del proyecto para la gestión de un proyecto, un organigrama describe el equipo del proyecto que logre el proyecto [72]. En la figura 5.1 (figura anexa a éste documento) se muestra la Estructura de Descomposición del Proyecto.

5.1.2.-Fases del proyecto.-

El proyecto se desarrollará en 6 fases principales:

- Estado del Arte.

- Aplicación del QFD.
- Diseño conceptual y de detalle.
- Prototipo de laboratorio.
- Pruebas de laboratorio.
- Redacción de tesis y publicación.

Cada una de estas fases estarán divididas en tareas, las cuales se desarrollarán consecutivamente y/o en paralelo según se requiera en la planificación. (Fig. 5.2) (figura anexa a éste documento).

5.1.3.-Diagrama de Gantt.-

Tomando como referencia las fases del proyecto, se ha elaborado el diagrama de Gantt, se ha considerado la secuencia de ejecución de tareas, en paralelo o consecutivas, las finalizaciones de las mismas, mediante los entregables. (Fig. 5.3) (figura anexa a éste documento).

5.2.- Desarrollo del despliegue de la función de calidad (QFD).-

5.2.1.-FASE 0: Identificación del cliente.-

La base del QFD consiste en convertir los requerimientos del cliente en especificaciones técnicas del objeto que va a ser diseñado. Por tanto, la primera tarea que hay que emprender, es saber quién es el/los cliente/s.

Se entiende por cliente en un concepto amplio, es decir, no sólo el consumidor final o el usuario del producto, sino todas aquellas personas que se ven influidas por las decisiones que se tomen durante el proceso de diseño: personal de producción, montaje, almacenaje, ventas, servicio post-venta, etc., es decir, todos los clientes, tanto los internos como los externos. Una vez conocido el público objetivo a quién se dirige el producto, es posible pasar a definir sus necesidades o expectativas. [49].

Los siguientes “clientes” que se consideran en este análisis son:

- **Industrias alimentarias, lácteos y derivados.**- Es el cliente principal, ya que es el usuario final de las máquinas termoformadoras y el que comercializa sus productos en los envases que esta les puede proporcionar.
- **Fabricantes de máquinas termoformadoras.**- Es el potencial cliente, el cual se interesaría en aplicar el nuevo sistema de termoformado en sus máquinas.
- **Empresa JEMA.MC.**- El cual es el diseñador y fabricante de prototipos del sistema de termoformado.

5.2.2.-FASE 1: Matriz de planificación del producto.-

5.2.2.1.- Identificación de los requerimientos del cliente.-

En este punto se deben averiguar las necesidades o expectativas del cliente y organizar éstas por tipos de requerimientos en la Matriz de Planificación del Producto. Estas necesidades deben expresar una idea única, deben estar redactadas en sentido afirmativo y estar expresadas claramente. Las categorías lógicas escogidas fueron las siguientes:

- **REQUERIMIENTOS FUNCIONALES:** Aquellos que describen el comportamiento del producto, su interacción con el hombre y el entorno, sus posibilidades de fallo y reparación.
 - o **Termoformar un envase geoméricamente nuevo.**- Es el tener como resultado del diseño un envase cuya forma geométrica sea nueva en el mercado.
 - o **Obtener un rendimiento de 20 ciclos por minuto.**- Es la velocidad con la que se termoforma los envase en la máquina, es decir realizar 20 secuencias de termoformado en un minuto de trabajo. Si el molde de termoformado es de 4 envases, se termoformaría 80 envases por minuto.
 - o **Obtener uniformidad de material en la superficie del envase.**- Que el proceso de termoformado se realice adecuadamente, manteniendo una distribución uniforme del material termoformado en el espesor de las paredes y el fondo del envase.

- **Lograr un mecanismo de termoformado sencillo y funcional.-** Realizar un diseño cuya simplicidad favorezca en el montaje y posterior mantenimiento, así como obtener la máxima funcionabilidad, versatilidad y fiabilidad del sistema.

- **REQUERIMIENTOS DE COSTES:** Requerimientos relacionados con el coste asociado a la mano de obra, materiales, equipos e instalaciones.
 - **Bajo coste de fabricación.-** La optimización en el diseño de la máquina, manteniendo las exigencias del cliente, conllevará a un bajo costo de fabricación.
 - **Bajo coste de montaje.-** El sistema de termoformado se debe diseñar de tal forma que pueda existir una fácil y económica incorporación a cualquier máquina de termoformado que se encuentre en pleno proceso productivo, siempre y cuando cumpla las exigencias mínimas requeridas para su adaptación.
 - **Bajo coste de operación.-** A pesar de la complejidad que pueda tener el sistema de termoformado y del sincronismo que se debe controlar y mantener en el proceso, debe ser un sistema de “fácil” operación y que solo se requiera de un operario.
 - **Bajo coste de mantenimiento.-** La fiabilidad de la máquina, de los componentes integrados en el diseño, así como una rápida identificación de fallos, mediante indicadores, sensores, etc. Reduce el costo de mantenimiento y alarga la frecuencia de intervención preventiva en la máquina.
 - **Bajo coste de adaptación a otras máquinas.-** El producto obtenido de este diseño podrá ser adaptado a máquinas termoformadoras que actualmente están en funcionamiento. Por tal motivo el costo de adaptación a otras máquinas debe ser el menor posible.

- **REQUERIMIENTOS DURANTE EL PROCESO DE FABRICACIÓN:** Estos requerimientos han sido generados por los equipos de diseño y fabricación de la empresa JEMA.MC.

- **Facilidad en el montaje.-** Se requiere tener cierta facilidad, con ayuda de la documentación necesaria, en el montaje del sistema. Esto depende exclusivamente de la etapa de diseño.
 - **Facilidad en el mantenimiento.-** Esta necesidad planteada se refiere al requerimiento de que las operaciones de montaje y desmontaje de las partes vitales del sistema, en la etapa de mantenimiento, puedan realizarse en el menor tiempo posible, logrando mayor eficiencia de la máquina en producción.
 - **Facilidad en el rediseño o adecuación para un nuevo producto.-** Se requiere obtener un sistema de termoformado que pueda aceptar, sin mayor dificultad, modificaciones en la geometría del envase. Así se tendría una máquina preparada para cambiar la geometría del envase según lo exija el mercado consumidor.
 - **Diseños sencillos, prácticos y eficientes.-** Se requiere, en conjunto, tener un producto desarrollado de una forma sencilla, práctica y sobre todo eficiente.
- **REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD:** Se considera necesario obtener el mayor grado de seguridad en:
- Seguridad en la operatividad.
 - Seguridad en las maniobras de mantenimiento.
- **REQUERIMIENTOS MEDIOAMBIENTALES:**
- Sin contaminación para el medio ambiente.- No deben existir operaciones que supongan un impacto negativo a medio ambiente.
 - Sin contaminación para el envase termoformado.- Tratándose de una industria relacionada con la alimentación humana, es requisito indispensable la total seguridad de que el sistema de termoformado no ponga en riesgo una posible contaminación del producto a envasar.
- **REQUERIMIENTOS DE MARKETING:** Se considera un requerimiento importante el garantizar un aumento de la demanda del producto envasado en el nuevo envase.
- Lograr un impacto en el mercado por un envase innovador.

5.2.2.2.- Priorizar los requerimientos del cliente.-

Se realiza una tabla de requerimientos del cliente del producto final a desarrollar, valorándose de 1 – 5, teniendo en cuenta que el valor de “5” corresponde a aquellas necesidades fundamentales.

TABLA DE REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE	
	Prioridad
FUNCIONAMIENTO	
Termoformar un envase geoméricamente nuevo.	5
Obtener un rendimiento de 20 ciclos por minuto.	5
Obtener uniformidad de material en las superficies del envase.	4
Lograr un mecanismo de termoformado sencillo y funcional.	3
COSTE	
Bajo coste de fabricación.	3
Bajo coste de Montaje.	3
Bajo coste de operación.	3
Bajo coste de mantenimiento.	4
Bajo coste de adaptación a otras máquinas.	4
FABRICACIÓN	
Facilidad en el montaje.	4
Facilidad en el mantenimiento.	5
Facilidad en el rediseño o adecuación para un nuevo producto	3
Diseños sencillos, prácticos y eficientes.	3
SEGURIDAD	
Seguridad en la operatividad.	4
Seguridad en maniobras de mantenimiento	4
MEDIO AMBIENTE	
Sin contaminación para el medio ambiente	4
Sin contaminación para el envase termoformado	5
MARKETING	
Lograr un impacto en el mercado por un envase innovador.	5

Tabla 5.1.- Requerimientos del cliente.

5.2.2.3.- Identificación / análisis de los competidores.-

Para este punto se realizó una evaluación de la situación actual de nuestro producto respecto al producto de los competidores. La finalidad principal de este punto es tomar conciencia de lo que ya existe y establecer puntos de mejora de la situación actual. En consecuencia al análisis realizado a los desarrollos e investigaciones contempladas en el estado del arte y a la importancia de sus propuestas técnicas se ha identificado a dos tipos de competidores, los principales y los secundarios.

5.2.2.3.1.- Competidores principales (CP).-

Se ha considerado como competidores principales a aquellas propuestas técnicas las cuales se basan en la apertura del molde y apertura parcial de molde, para el termoformado de envases de geometría especial. El uso de estos sistemas de termoformado nos proporciona las siguientes ventajas/desventajas:

- **Funcionales:**

- Podemos termoformar una amplia variedad de geometrías de envases.
- A mayor exigencia de geometría especial de envase, se reduce el rendimiento de la máquina (ciclos de termoformado por minuto) y aumenta la complejidad del mecanismo necesario. Por lo contrario, al disminuir el rendimiento de la máquina, nos proporciona mayor tiempo, entre ciclos de termoformado, para el control de las variables que intervienen en el proceso.

- **Costo:**

- Los costos de fabricación y montaje son relativamente altos, debido a la necesidad de uso de mecanismos necesarios para la apertura y cierre de molde, así como la incorporación de automatismos para el sincronizado de los movimientos propios del sistema y con las demás fases del proceso.
- Debido a la complejidad y cantidad de los mecanismos utilizados, los costos de operación aumentan, el riesgo a fallo es mayor y en consecuencia el costo de mantenimiento también. La incorporación de este sistema a máquinas en uso significan un alto costo económico y de tiempo.

- **Fabricación:**

- El diseño y fabricación de estos sistemas pueden estar optimizados, pero la complejidad y cantidad de mecanismos nos llevan a asumir costos de fabricación y mantenimientos altos.
- El que el molde de termoformado esté compuesto por varias partes móviles, nos obliga a diseñar mecanismo exclusivos para éste uso, con lo

cual el diseño o rediseño del molde, para cambio de geometría de envase, nos genere modificaciones considerables en las piezas involucradas.

- **Seguridad y medio ambiente:**

- Al margen de la complejidad del sistema, aunque a mas mecanismos mas riesgo de accidente, siempre se considera un sistema de termoformado seguro para el operario y de bajo impacto ambiental y de contaminación en el envase.

- **Marketing:**

- El termoformar un envase geométricamente nuevo, siempre tiene una gran repercusión en el mercado consumidor, el gran inconveniente que se debe salvar es la deformación superficial del envase debido a la línea de cierre del molde y a la posible presencia de aristas que pueden originar riesgo de corte en la manipulación del envase.

5.2.2.3.2.- Competidores secundarios (CS).-

Se ha considerado como competidores secundarios a aquellas propuestas técnicas las cuales se basan en la apertura parcial y desplazamientos verticales o laterales de cavidades internas del molde y la disposición especial de las partes que conforman la estación de termoformado. El uso de estos sistemas de termoformado nos proporciona las siguientes ventajas/desventajas:

- **Funcionales:**

- Al proponer distintas posibilidades de desplazamiento en el molde, así como disposiciones especiales de las partes de la estación de termoformado, nos permite termoformar una limitada variedad de geometrías de envases, ya que a mayor mecanismo requiere una mayor disponibilidad de espacio en la máquina termoformadora.
- A mayor exigencia de geometría especial de envase, se reduce el rendimiento de la máquina (ciclos de termoformado por minuto) y

aumenta la complejidad del mecanismo necesario. Por lo contrario, al disminuir el rendimiento de la máquina, nos proporciona mayor tiempo, entre ciclos de termoformado, para el control de las variables que intervienen en el proceso, pero debemos considerar que a mayor mecanismo aumentan las variables a controlar.

- **Costo:**

- Los costos de fabricación y montaje son relativamente altos, debido a necesidad de uso de mecanismos necesarios para la apertura y cierre, y desplazamientos verticales y laterales del molde, así como la incorporación de automatismos para el sincronizado de los movimientos propios del sistema y con las demás fases del proceso.
- Debido a la complejidad y cantidad de los mecanismos utilizados, los costos de operación aumentan, el riesgo a fallo es mayor y en consecuencia el costo de mantenimiento también. La incorporación de este sistema a máquinas en uso significan un alto costo económico y de tiempo.

- **Fabricación:**

- El diseño y fabricación de estos sistemas pueden estar optimizados, pero la complejidad y cantidad de mecanismos nos llevan a asumir costos de fabricación y mantenimientos altos.
- El que el molde de termoformado esté compuesto por varias partes móviles, nos obliga a diseñar mecanismo exclusivos para éste uso, con lo cual el diseño o rediseño del molde, para cambio de geometría de envase, nos genere modificaciones considerables en las piezas involucradas.

- **Seguridad y medio ambiente:**

- Al margen de la complejidad del sistema, aunque a mas mecanismos mas riesgo de accidente, siempre se considera un sistema de termoformado seguro para el operario, de bajo impacto ambiental por utilizar un material reciclable y de no contaminación en el envase.

- Marketing:

- El termoformar un envase geoméricamente nuevo, siempre tiene una gran repercusión en el mercado consumidor, el gran inconveniente que se debe salvar es la deformación superficial del envase debido a las líneas de cierre y a los desplazamientos del molde, y a la posible presencia de aristas que pueden originar riesgo de corte en la manipulación del envase.

5.2.2.4.- Evaluación de la competencia.-

El principal objetivo de este paso es tomar conciencia de lo que ya existe y poner de manifiesto las oportunidades para mejorar la situación actual. Se puntuó tanto el producto propio con el de la competencia. El rango de valoración fue de 1 a 5. Una puntuación de “5” indica que el producto satisface plenamente los requerimientos del cliente.

- **COMPETIDORES PRINCIPALES (CP)**
- **COMPETIDORES SECUNDARIOS (CS)**

Gracias a esta evaluación es posible tomar conciencia de los puntos fuertes y débiles y situar el producto objeto de diseño, característica a característica, respecto al de la competencia.

CUADRO DE EVALUACIÓN DE LA COMPETENCIA						
	Prioridad	Evaluación de la competencia.				
		1	2	3	4	5
FUNCIONAMIENTO						
Termoformar un envase geoméricamente nuevo.	5		CS		CP	
Obtener un rendimiento de 20 ciclos por minuto.	5		CS	CP		
Obtener uniformidad de material en las superficies del envase.	4	CS			CP	
Lograr un mecanismo de termoformado sencillo y funcional.	3		CS	CP		
COSTE						
Bajo coste de fabricación.	3			CP	CS	
Bajo coste de Montaje.	3			CP	CS	
Bajo coste de operación.	3			CP	CS	
Bajo coste de mantenimiento.	4	CS	CP			
Bajo coste de adaptación a otras máquinas.	4	CS	CP			
FABRICACIÓN						
Facilidad en el montaje.	4		CS	CP		
Facilidad en el mantenimiento.	5		CS	CP		
Facilidad en el rediseño o adecuación para un nuevo producto	3	CS	CP			
Diseños sencillos, prácticos y eficientes.	3	CS	CP			
SEGURIDAD						
Seguridad en la operatividad.	4			CS	CP	
Seguridad en maniobras de mantenimiento	4			CS	CP	
MEDIO AMBIENTE						
sin contaminación para el medio ambiente	4			CS	CP	
sin contaminación para el envase termoformado	5				CS	CP
MARKETING						
Lograr un impacto en el mercado por un envase innovador.	5	CS	CP			

Tabla 5.2: Evaluación de la competencia.

5.2.2.5.- Factores de mejora respecto a los competidores.-

Posterior a la evaluación de la competencia, se repasaron los valores correspondientes a las prioridades de los requerimientos de los clientes. A continuación, se determinaron las “metas de mejora” respecto a los competidores. Se asignó un factor de mejora “1” en aquellas necesidades del cliente en las que no se espera conseguir ninguna mejora respecto a la evaluación de la competencia. Se añadió un factor de 0.1 por cada unidad de mejora esperada.

5.2.2.6.- Aspectos decisivos para la venta / marketing.-

En este punto se establecen los aspectos decisivos para la venta, aspectos que enfatizará el departamento de Marketing en la promoción del producto. No deben existir más de 3 aspectos decisivos de venta, o 2 aspectos decisivos y 2 secundarios para

focalizar el mensaje del Dpto. de Marketing. Los aspectos decisivos son valorados con un factor de “1.5” y los secundarios con un factor de “1.2”.

El desarrollo de una estrategia de venta para el nuevo producto está basado en el proceso de designar metas de mejora y aspectos decisivos para la venta, partiendo de las siguientes cuestiones; ¿Sobre qué aspectos se va a enfatizar? ¿Cuáles son las fuerzas de nuestros competidores? ¿Qué nos distinguirá en el mercado? ¿Cuál será nuestra posición relativa en el mercado? La clave está en focalizar nuestros recursos en aquellas áreas que nos proporcionaran el mayor valor al nuestro cliente.

Se valoraron con la máxima puntuación las siguientes necesidades de nuestro cliente:

- Termoformar un envase geoméricamente nuevo 1.5
- Obtener un rendimiento de 20 ciclos/minuto. 1.5
- Facilidad en el mantenimiento. 1.5
- Sin contaminación para el envase termoformado 1.5

CUADRO DE EVALUACIÓN DE LA COMPETENCIA										
	Prioridad	Evaluación de la Competencia					Aspectos Decisivos para la Venta	Mejora Esperada	Mejora Relativa	Factor de Mejora
		1	2	3	4	5				
FUNCIONAMIENTO										
Termoformar un envase geoméricamente nuevo.	5		CS		CP		1,5	5	1	1,1
Obtener un rendimiento de 20 ciclos por minuto.	5		CS	CP			1,5	5	2	1,2
Obtener uniformidad de material en las superficies del envase.	4	CS			CP		1,2	3	0	1,0
Lograr un mecanismo de termoformado sencillo y funcional.	3		CS	CP			1	4	2	1,2
COSTE										
Bajo coste de fabricación.	3			CP	CS		1	3	0	1,0
Bajo coste de Montaje.	3			CP	CS		1	4	3	1,3
Bajo coste de operación.	3			CP	CS		1	4	0	1,0
Bajo coste de mantenimiento.	4	CS	CP				1	5	0	1,0
Bajo coste de adaptación a otras máquinas.	4	CS	CP				1	4	0	1,0
FABRICACIÓN										
Facilidad en el montaje.	4		CS	CP			1	3	0	1,0
Facilidad en el mantenimiento.	5		CS	CP			1,5	4	0	1,0
Facilidad en el rediseño o adecuación para un nuevo producto	3	CS	CP				1	3	0	1,0
Diseños sencillos, prácticos y eficientes.	3	CS	CP				1	4	2	1,2
SEGURIDAD										
Seguridad en la operatividad.	4			CS	CP		1	4	1	1,1
Seguridad en maniobras de mantenimiento	4			CS	CP		1	4	1	1,1
MEDIO AMBIENTE										
sin contaminación para el medio ambiente	4			CS	CP		1	5	0	1,0
sin contaminación para el envase termoformado	5				CS	CP	1,5	5	2	1,2
MARKETING										
Lograr un impacto en el mercado por un envase innovador.	5	CS	CP				1,5	5	1	1,1

Tabla 5.3: Factores de mejora.

5.2.2.7.- Características técnicas asociadas a los requerimientos.-

En este punto se especificaron las características técnicas necesarias para responder a los requerimientos de nuestros clientes, seguidamente se generarán distintas categorías en función a las características. Se trata de identificar para cada una de las necesidades del cliente (“qué”) una o más características de calidad (“como”). También se identificó el sentido de la mejora para cada característica (+, = o -).

Las Características Técnicas y las categorías en las que se agruparon fueron las siguientes:

5.2.2.7.1.- Características operativas:

- **Geometría del envase.-** El diseño de la geometría del envase debe estar optimizado para satisfacer las exigencias estéticas y funcionales del cliente.
- **Ciclos por minuto.-** Cantidad de ciclos de termoformado que realiza la máquina en un minuto de trabajo.
- **Sincronismo en el proceso.-** Control de variables que intervienen en el proceso de termoformado. Los tiempos, velocidades, distancias, apertura o cierre de válvulas y demás parámetros deben estar sincronizados para una correcto y eficiente termoformado de envase.
- **Temperatura de material.-** Control de temperatura de calentamiento/termoformado requerido para el termoformado del envase, esta variable influye mucho en el rendimiento de la máquina.

5.2.2.7.2.- Características sobre reparación y mantenimiento:

- **Tiempo de parada para mantenimiento.-** Es el tiempo que se requiere para la ejecución de un mantenimiento preventivo al mes.
- **Tiempo de cambio de molde.-** Es el tiempo que se requiere para efectuar el cambio de molde, para el termoformado de otra geometría de envase.

- **Tiempo de parada por puesta en marcha.**- Es el tiempo que se requiere para realizar ajustes en la estación de termoformado, previo a la puesta en marcha de la máquina.

5.2.2.7.3.- Características sobre consumos:

- **Consumo de material de fondo – Films (m²/env.)**- Consumo de material de fondo o film en el cual se termoformará el envase. Se considera un 10% de desperdicio por la manipulación y cortes realizados en la máquina termoformadora.
- **Consumo de lubricante (euros/año)**- El sistema mecánico utilizado en máquina debe mantenerse lubricado. A medida que este sistema mecánico es más complejo y amplio se requiere de mayor frecuencia de lubricación.
- **Consumo eléctrico (euros/año)**- Es el costo que significa el consumo de suministro eléctrico que requiere la máquina para termoformar envases. Cuanto más optimizado esté el diseño de la máquina, menor será el consumo de suministro eléctrico.
- **Consumo aire comprimido (euros/año)**- A mayor movimientos mecánicos, mayor será la necesidad de uso de cilindros neumáticos y por consiguiente mayor uso de aire comprimido. Al igual que en el punto anterior, a mayor optimización de diseño menor consumo de aire comprimido.

5.2.2.7.4.- Características sobre costes:

- **Coste de fabricación (euros/estación)**- Coste de fabricación de la máquina con el sistema de termoformado que se desea diseñar.
- **Coste de instalación (euros/estación)**- Coste de instalación de sistema de termoformado en máquinas en uso.
- **Coste de mantenimiento (euros/año)**- Coste de mantenimiento de la estación de termoformado.
- **Coste de mano de obra (euros/año)**- Coste de mano de obra requerida para la operación de la máquina.

- **Coste de envase (euros/envase).**- Coste de envase termoformado, contemplando los distintos gastos (costo de máquina, consumos, material, etc.)

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ASOCIADAS A LOS REQUERIMIENTOS															
+	-	=	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
OPERACIÓN				REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO			CONSUMOS				COSTES				
Geometría del envase.	Ciclos por minuto	Sincronismo en el proceso	Temperatura de material	Tiempo de parada para mantenimiento	Tiempo de cambio de molde	Tiempo de parada por puesta en marcha.	Consumo de material de fondo (m ² / env.)	Consumo de lubricante (euros/año)	Consumo eléctrico (euros/año)	Consumo aire comprimido (euros/año)	Coste de fabricación (euros/máquina)	Coste de instalación (euros/estación)	Coste de mantenimiento (euros/año)	Coste de mano de obra (euros/año)	Coste envase termoformado (euros/env.)

Tabla 5.4: Características técnicas.

5.2.2.8.- Interrelación, requerimientos del cliente / características técnicas.-

En este apartado definiremos el grado de satisfacción con el que las características técnicas satisfacen los requerimientos del cliente, para ello nos valemos de las relaciones entre las Necesidades de los distintos clientes y las Características Técnicas asociadas a éstas. Se consideró la meta asociada a cada característica (valores objetivos o meta) para comprobar en qué grado se satisface la necesidad de nuestro cliente. Se emplearon los pesos 5-3-1 reservando el mayor peso para las relaciones más fuertes.

CUADRO DE INTERRELACIÓN, REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE / CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.																		
REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE		CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.																
		PRIORIDAD	Geometría del envase.	Ciclos por minuto	Sincronismo en el proceso	Temperatura del material	Tiempo de parada para mantenimiento	Tiempo de cambio de molde	Tiempo de parada por puesta en marcha	Consumo de material de fondo (m ² / env.)	Consumo de lubricante (euros / año)	Consumo eléctrico (euros / año)	Consumo aire comprimido (euros / año)	Coste de fabricación (euros / máquina)	Coste de instalación (euros / estación)	Coste de mantenimiento (euros / año)	Coste de mano de obra (euros / año)	Coste de envase termoformado (euro / env.)
FUNCIONAMIENTO	Termoformar un envase geoméricamente nuevo.	5	5			5								5				
	Obtener un rendimiento de 20 ciclos por minuto.	5	5	5	5	5			5		5	3	5	5			5	5
	Obtener uniformidad de material en las superficies del envase.	4	5	5	3	5			3		5	1	5	5				
	Lograr un mecanismo de termoformado sencillo y funcional.	3			1				3	3		3	3	5				3
COSTE	Bajo coste de fabricación.	3	3							3				5				5
	Bajo coste de Montaje.	3	5										3	5				5
	Bajo coste de operación.	3	3	3	5		5	3	3	3	3	1		3			5	5
	Bajo coste de mantenimiento.	4	3		5		5	3	3			3			5			5
	Bajo coste de adaptación a otras máquinas.	4	1					5		5	3		1	3	5			5
FABRICAC.	Facilidad en el montaje.	4								3			1					
	Facilidad en el mantenimiento.	5	3		5		3		1				1	1	5			
	Facilidad en el rediseño o adecuación para un nuevo producto	3	3					5					3	1				
	Diseños sencillos, prácticos y eficientes.	3	3						3	3			3	3	3	3		
SEG.	Seguridad en la operatividad.	4		5	5	3	1	1	3	3	3			3			5	3
	Seguridad en maniobras de mantenimiento	4			1		3		3	3			1	3	3			
MEDIO AMBT.	Sin contaminación para el medio ambiente	4		5							5	5	5	5				
	Sin contaminación para el envase termoformado	5	5	5		3							3	3			5	
MKT	Lograr un impacto en el mercado por un envase innovador.	5	5											5				

Tabla 5.5: Interrelación requerimientos del cliente / características técnicas.

5.2.2.9.- Evaluación técnica, competidores / características técnicas.-

Para cada uno de los apartados de la evaluación técnica de la competencia se ha considerado la información técnica que proporciona el fabricante de máquina contrastado con los datos reales de funcionamiento de máquina, obtenidos por la experiencia que se tiene como usuario y técnico de postventa.

Para la valoración de la “**geometría de envase**” se ha considerado la definición de “poco innovador” e “innovador” según el impacto del diseño funcional y estético percibido en el envase termoformado.

Los “**Ciclos por minuto**” están definidos según el rendimiento real de la máquina en condiciones normales de funcionamiento, dependiendo siempre de la geometría de envase, sincronismo del proceso y control de la temperatura.

Las características de “**Sincronismo en el proceso**” y “**Temperatura de material**”, son evaluadas según la tecnología que utilizan en el automatismo de la máquina y especialmente el de este proceso.

El “**Tiempo de parada para mantenimiento**” está determinado tomando como referencia el tiempo que se requiere para realizar el mantenimiento preventivo de una máquina termoformadora estándar, en un mes de funcionamiento (100min), este tiempo irá aumentando según la complejidad mecánica de la estación de termoformado y la fiabilidad que trasmite la tecnología usada para su fabricación.

Las características de “**Tiempo de cambio de molde**” y “**Tiempo de parada por puesta en marcha**” están definidos según la complejidad de movimientos que realiza el molde de termoformado; apertura, apertura parcial y desplazamientos verticales y laterales, por los cuales se requieren mayor disponibilidad de tiempo en el intercambio de molde y en la puesta en marcha previa a la producción, al igual que la característica anterior, se toma como referencia el tiempo que se requiere para cambiar un molde o poner en marcha una máquina estándar (10 y 15min, respectivamente).

El “**Consumo de material de fondo**” esta característica está relacionada a la forma de envase (“Geometría de envase”) y al tipo de termoformado usado; es decir, si el molde de termoformado tiene movimientos verticales y laterales (apertura de molde) para liberar el envase termoformado, requiere de mayor espacio para realizar dichos movimientos, lo cual obliga a “desperdiciar” material de fondo. Los consumos anuales de lubricante, suministro eléctrico y aire comprimido se definen según los datos de consumo que figuran en los libros de máquina.

El cálculo del “Costo de envase” se ha realizado considerando: el costo de amortización de la máquina (a 10 años), rendimiento de máquina, consumo de material de fondo, consumos de lubricante, suministro eléctrico y aire comprimido, costo de mantenimiento y de operario. Tal como se puede apreciar en la tabla 5.6

CUADRO DE DETALLES DE EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS COMPETIDORES					
PROTOTIPO	CP	CS	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS MÁQUINAS		
4	4	4	env. / ciclo	Formato estándar 4x1	Número de envases por ciclo de máquina
20	10	15	Ciclos / min.	Según tipo de máquina	Rendimiento de máquina
80	40	60	env. / min.	= (ciclos/min.)x (env./ciclo)	
8	8	8	Hr.		Tiempo producción al día
480	480	480	min.		
15	30	20	min.	Según tipo de máquina	Tiempo puesta marcha
465	450	460	min. / día	= T. producción - T. puesta en marcha	Tiempo efectivo producción
7,75	7,50	7,67	hr/día		
1713	1658	1694	hr/año	= (hr./día) x días laborables año	
221	221	221	días	Según convenio empresa tipo	Tiempo laborables por año
37200	18000	27600	env. / día.	= (T. efectivo producción min./día) x (env. / min.)	Número de envases termoformados
8221200	3978000	6099600	env. / año	= (env. / día) x (días laborables año)	
0,00396	0,00495	0,00462	m ² / env.	CP=70x60mm ² CS=75x60mm ² Prototipo=60x60mm ² + 10% desperdicio	Superficie de material de fondo utilizado para un envase
0,0051	0,0105	0,0063	l / hr	Según tipo de máquina	Consumo de lubricante
5,7	5,7	5,7	E / l	Costo de litro	
50	99	61	E / año	= (hr/año) x (l/hr) x (E/l)	
23,5	38,8	25,3	Kw / hr	Según tipo de máquina	Consumo de eléctrico
0,112	0,112	0,112	E / Kw	Costo de Kw (según red eléctrica de España)	
4498	7203	4801	E / año	= (hr/año) x (Kw/hr) x (E/Kw)	
77,5	122,8	99,3	m ³ / hr	Según tipo de máquina	Consumo aire comprimido
0,0113	0,0113	0,0113	E / m ³	Costo de m ³	
1500	2300	1901	E / año	= (hr/año) x (m ³ / hr) x (E/m ³)	
1,50	1,50	1,50	E/m ²	Costo por m ²	Costo de material de fondo
48834	29537	42270	E/m ² (año)	= (costo mat. /m ²) x (m ² /env.) x (env. / año)	
14000	12000	17000	E/año	CP=170000 Euros CS=120000 Prototipo=140000 Amortizado a 10 años	Costo de máquina
25000	46000	23000	E/año	Costo de operario de máquina	Costo de operario
12000	15000	10000	E/año		Costo de mantenimiento
0,0129	0,0282	0,0162	E/env.	= (Costo máquina año + Costo operario + Costo mantenimiento + consumo aire + consumo lubricante + consumo eléctrico + E/m ² -año) / envases al año	Costo de envase termoformado

Tabla 5.6: Detalles de evaluación técnica de los competidores.

correlaciones: positiva y negativa. Existe una correlación positiva entre dos “cómos” si llevando a cabo una de ellas en el sentido de la mejora establecida, se consigue lo mismo en el otro caso y existe una correlación negativa cuando es incompatible la consecución de una con la otra. El conocimiento de estas correlaciones permite ahorrar esfuerzos y, por consiguiente, gastos. (Tabla 5.9).

VALORES OBJETIVOS (METAS)		CUADRO DE VALORES OBJETIVOS (METAS PRELIMINARES)			
INNOVADOR	Geometría del envase.	OPERACIÓN	REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO	CONSUMOS	COSTES
20 ciclos	Ciclos por minuto				
MUY CONTROLADA	Sincronismo en el proceso				
MUY CONTROLADA	Temperatura del material				
100 min.	Tiempo de parada para mantenimiento				
10 min.	Tiempo de cambio de molde				
15 min.	Tiempo de parada por puesta en marcha				
0,00396	Consumo de material de fondo (m ² / env.)				
50	Consumo de lubricante (euros / año)				
4498	Consumo eléctrico (euros / año)				
1500	Consumo aire comprimido (euros / año)				
140000	Coste de fabricación (euros / máquina)				
18000	Coste de instalación (euros / estación)				
12000	Coste de mantenimiento (euros / año)				
25000	Coste de mano de obra (euros / año)				
0,0129	Coste envase termoformado (euros / env.)				

Tabla 5.8: Metas preliminares.

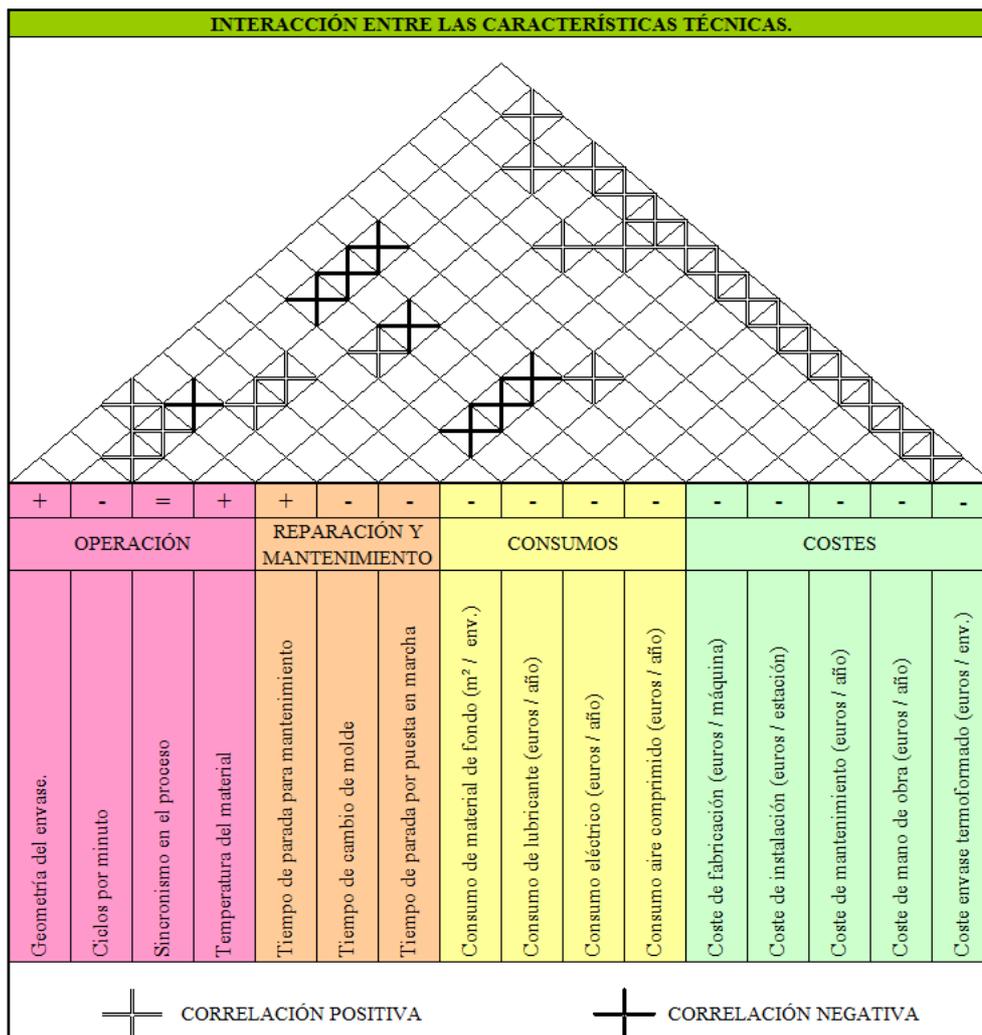


Tabla 5.9: Interacciones entre las características técnicas.

5.2.2.12.- Factor de importancia normalizada.-

Se calcularon posteriormente los FACTORES DE IMPORTANCIA NORMALIZADOS de cada característica técnica, sumando los valores de cada columna obtenidos de la multiplicación del factor de mejora, el aspecto decisivo para la venta, la interrelación de esa característica con la necesidad del cliente y de su factor de prioridad. El valor resultante de dicha operación fue normalizado con un rango de 1 a 5.

CUADRO DE FACTOR DE IMPORTANCIA NORMALIZADA																
	+	-	=	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	OPERACIÓN				REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO			CONSUMOS				COSTES				
	Geometría del envase.	Ciclos por minuto.	Sincronismo en el proceso.	Temperatura del material.	Tiempo de parada para mantenimiento.	Tiempo de cambio de molde.	Tiempo de parada por puesta en marcha.	Consumo de material de fondo (m ² / env.)	Consumo de lubricante (euros / año)	Consumo eléctrico (euros / año)	Consumo aire comprimido (euros / año)	Coste de fabricación (euros / máquina)	Coste de instalación (euros / estación)	Coste de mantenimiento (euros / año)	Coste de mano de obra (euros / año)	Coste envase termoformado (euros / env.)
FACTOR DE IMPORTANCIA	292,3	165,0	161,9	150,5	75,1	82,0	135,9	76,4	134,0	54,8	174,5	291,9	74,3	81,5	127,0	158,5
FACTOR DE IMPORTANCIA NORMALIZADO	5	3	3	3	1	1	2	1	2	1	3	5	1	1	2	3

Tabla 5.10: Factor de importancia normalizada.

5.2.2.13.- Determinar las acciones a realizar.-

Una vez completada la matriz de Planificación del Producto, se repasa y analiza ésta, prestando especial atención a las características técnicas que se han revelado como prioritarias frente al resto:

- ❑ GEOMETRÍA DEL ENVASE.
- ❑ COSTE DE FABRICACIÓN.

Las características técnicas prioritarias nos servirán de punto de partida para la siguiente fase, en la que se determinarán las posibles alternativas de producto a partir de los resultados obtenidos en la matriz de Planificación.

5.2.3.-FASE 2-A: Matriz de selección de alternativas.-

5.2.3.1.- Determinación de las alternativas del producto.-

Para determinar distintas alternativas de diseño del producto. Se deben considerar no sólo la tecnología actual, sino otras que pudiesen tener cabida en el desarrollo del nuevo diseño.

Técnicamente existe una característica que se debe considerar en el diseño para que se pueda obtener un envase con la geometría que se busca y se ajuste a los requerimientos funcionales, de coste y de fabricación definidos anteriormente, así como a las características técnicas definidas en la matriz de Planificación de producto. El análisis realizado en el apartado del estudio del arte, nos llevo a identificar a nuestros competidores, quienes se basan en la obtención de envases termoformados especiales en la apertura del molde y apertura parcial de molde. Este tipo de soluciones técnicas tienen sus limitaciones que repercuten en el acabado estético del envase, elevado costo de fabricación e implantación en máquina, entre otros. Por tal motivo, en las tres alternativas que proponemos mantendremos la característica principal que consiste en que el molde pueda liberar el envase termoformado sin apertura total o parcial ni ningún tipo de desplazamientos, salvo uno, el de naturaleza radial.

Para obtener el giro del molde en el proceso de desmoldeo, se seleccionaron las alternativas mediante una sesión de BRAINSTORMING entre los miembros del proyecto. Cada una de las alternativas consideradas fue posteriormente desarrollada y definida para poder ser evaluada en la matriz de selección de alternativas.

Las alternativas consideradas fueron las siguientes, las cuales describiremos en detalle mas adelante:

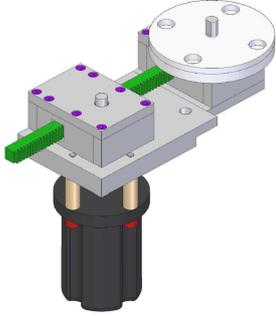
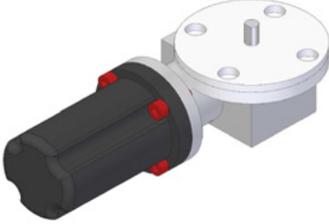
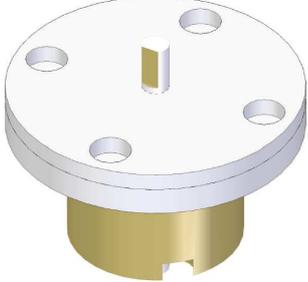
<u>ALTERNATIVA 1</u> Sistema de termoformado con giro mecánico de molde.	<u>ALTERNATIVA 2</u> Sistema de termoformado con giro servo-asistido de molde.	<u>ALTERNATIVA 3</u> Sistema de termoformado con giro neumático de molde.
		

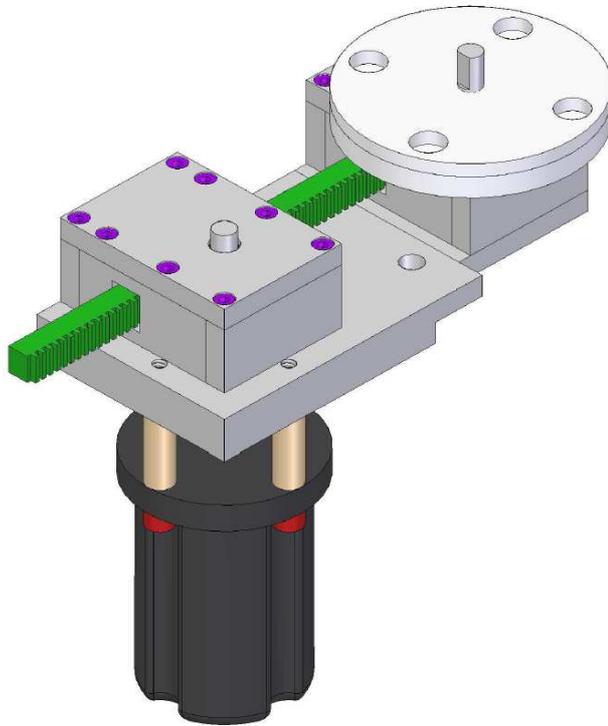
Fig. 5.4: Alternativas de producto.

5.2.3.1.1.- ALTERNATIVA 1: Sistema de termoformado con giro mecánico de molde.-

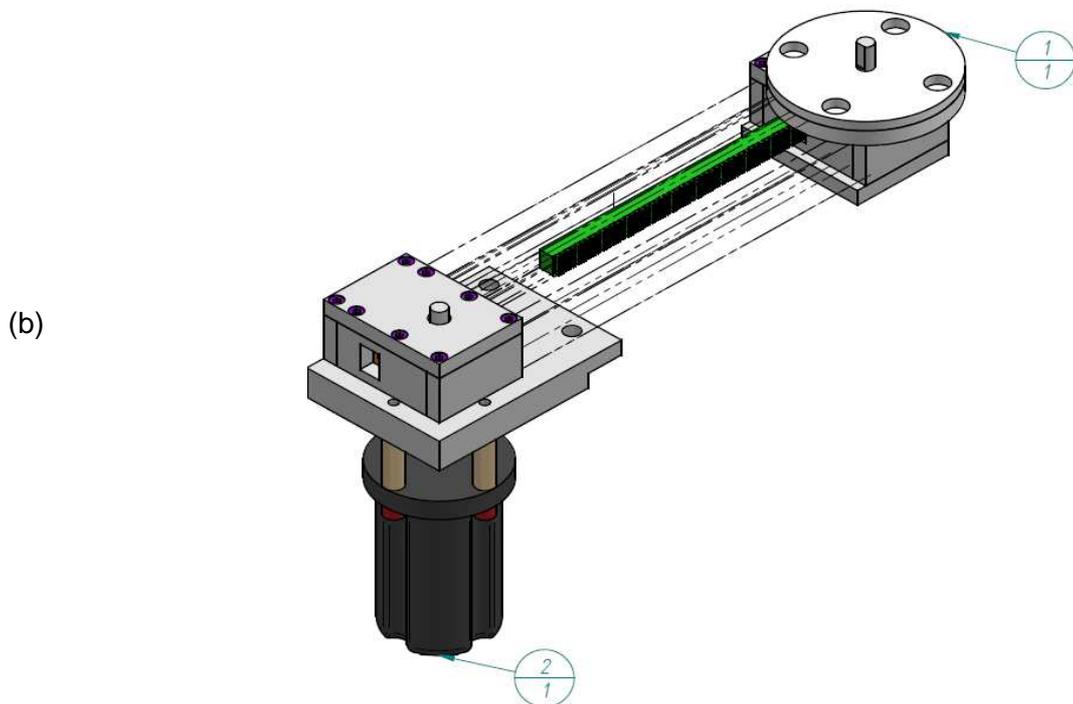
A) Descripción del sistema.-

Una de las alternativas la constituye el sistema de giro de molde mediante un sistema mecánico (Fig. 5.5 (a)). Este sistema consiste en la incorporación de dos subconjuntos, Subconjunto Eje Giro Mecánico y Subconjunto Motor Giro Mecánico (Fig. 5.5 (b)). El subconjunto Motor Giro Mecánico está formado por (Fig. 5.5 (c)); un motor mini de 220VCA, 700rpm y 0,1 kW que proporciona el movimiento rotacional con una velocidad, aceleración y desaceleración determinada, a una caja de redireccionamiento de movimiento (conversión de movimiento rotacional en movimiento longitudinal), el que un engranaje (M1_Z24) se encarga de transmitir el movimiento rotacional a la cremallera (M1_10x10x250) del subconjunto eje giro mecánico (Fig. 5.5 (d)), en el otro extremo de la cremallera, se realiza la operación inversa, es decir, convierte el movimiento longitudinal en radial, el cual mediante el eje giro mecánico molde (MPO1-TER-006) transmite el movimiento al molde de termoformado. Para poder sincronizar estos movimientos con los propios de la estación de termoformado, se incorporan sistemas de automatismo como detectores de proximidad, regulación de velocidad, aceleración y

desaceleración del motor y dispositivos mecánicos que reducen la fricción y garantizan una uniformidad en tiempo de los movimientos que se realizan.

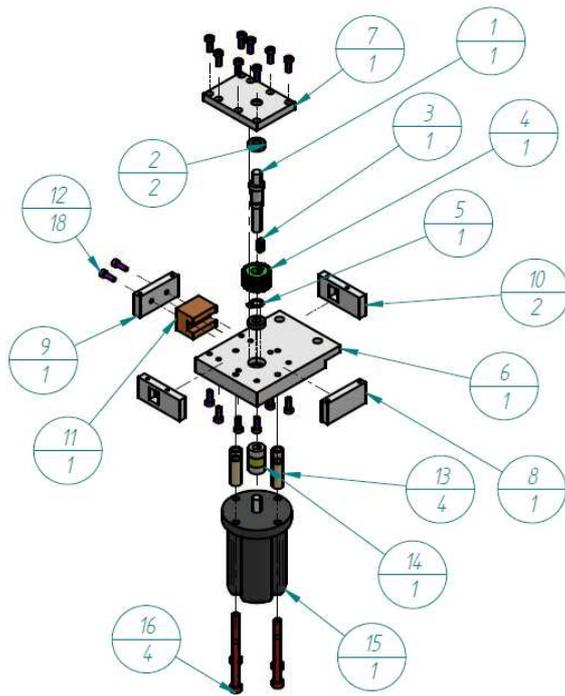


(a)



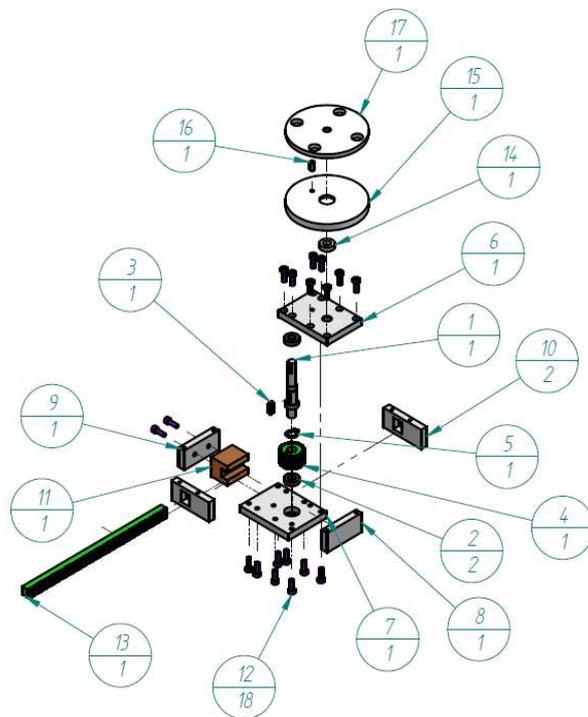
(b)

Nº	Código	Referencia	Descripción	Cont
1	20019	MP01-SU020	Subconjunto Eje Giro Mecánico	1
2	20021	MP01-SU022	Subconjunto Motor Giro Mecánico	1



Nº	Código	Referencia	Descripción	Cant
1	10176	MP01-TER-006	Eje Giro Mecánico Molde	1
2	C445		Rodamiento 688	2
3	C547		Chaveta 4x4x15mm	1
4	C493		Engranaje M1_Z24	1
5	C433		Seeger exterior Ø10	1
6	10186	MP01-TER-016	Tapa Soporte Motor Motor	1
7	10185	MP01-TER-015	Tapa Superior Giro Mecánico	1
8	10180	MP01-TER-010	Tapa Lateral	1
9	10181	MP01-TER-011	Tapa Lateral Guía	1
10	10182	MP01-TER-012	Tapa Frontal	2
11	10183	MP01-TER-013	Guía Cremallera	1
12	C51		Tornillo DIN-912 M4x12	18
13	10187	MP01-TER-017	Separador Motor Soporte	4
14	C646		Acoplamiento Ø8x26	1
15	C622		Motor Mini 220VCA 700rpm 0,10 Kw	1
16	C79		Tornillo DIN-912 M6x50	4

(c)

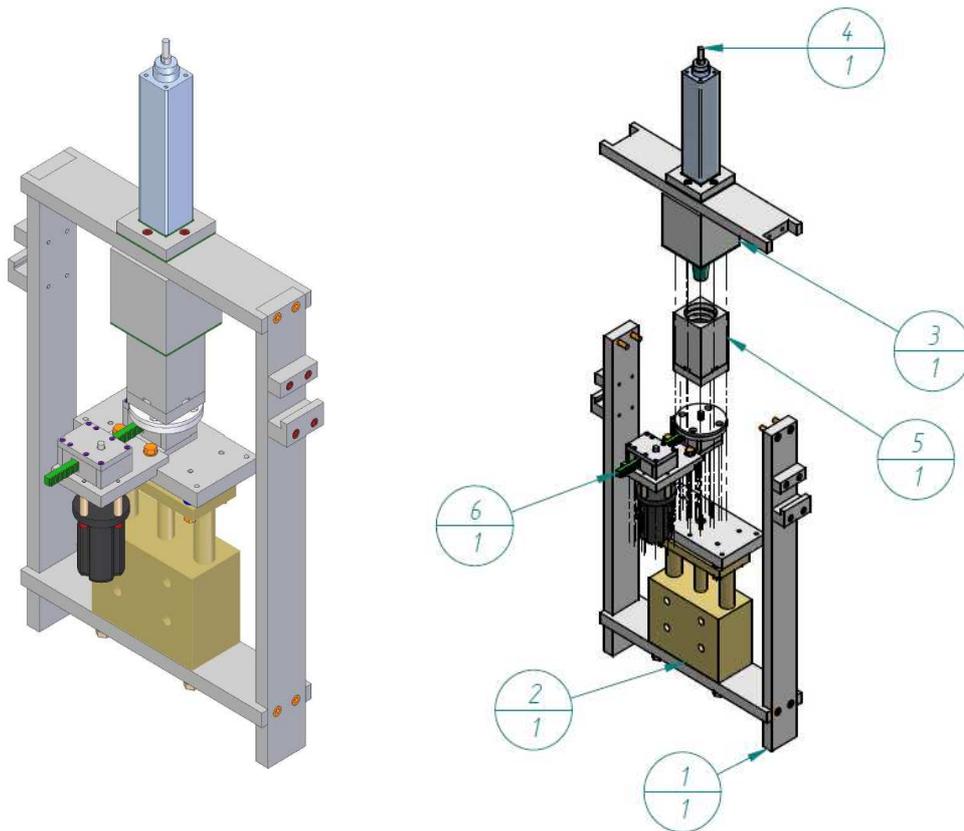


Nº	Código	Referencia	Descripción	Cant
1	10176	MP01-TER-006	Eje Giro Mecánico Molde	1
2	C445		Rodamiento 688	2
3	C547		Chaveta 4x4x15mm	1
4	C493		Engranaje M1_Z24	1
5	C433		Seeger exterior Ø10	1
6	10178	MP01-TER-008	Tapa Superior Giro Mecánico	1
7	10179	MP01-TER-009	Tapa Inferior Giro Mecánico	1
8	10180	MP01-TER-010	Tapa Lateral	1
9	10181	MP01-TER-011	Tapa Lateral Guía	1
10	10182	MP01-TER-012	Tapa Frontal	2
11	10183	MP01-TER-013	Guía Cremallera	1
12	C51		Tornillo DIN-912 M4x12	18
13	C498		Cremallera M1_10x10x250	1
14	10177	MP01-TER-007	Anillo Separador	1
15	10184	MP01-TER-014	Placa 1 Giro Molde	1
16	C34		Prisionero M5x10	1
17	10173	MP01-TER-003	Arandela 2 Giro Molde	1

(d)

Fig. 5.5 Alternativa 1: (a) Subconjunto giro mecánico. (b) Partes del subconjunto. (c) Explosión subconjunto motor giro mecánico. (d) Explosión subconjunto eje giro mecánico.

En la estación de termoformado (Fig. 5.6) se puede visualizar las dimensiones y la disposición que tendría este sistema en la máquina.



Nº	Código	Referencia	Descripción	Cant
1	20000	MP01-SU001	Subconjunto Bastidor Termoformado	1
2	20002	MP01-SU003	Subconjunto Termoformado	1
3	20001	MP01-SU002	Subconjunto Campana Ø54	1
4	20007	MP01-SU008	Subconjunto Cilindro Pistonaje	1
5	20023	MP01-SU024	Subconjunto Molde	1
6	20004	MP01-SU005	Subconjunto Giro Mecánico	1

Fig. 5.6 Alternativa 1: Estación de termoformado con sistema mecánico incorporado.

B) Características Principales.-

- Requiere de la combinación de sistemas mecánicos, eléctricos y de automatismo.
- Es un sistema fiable.

- Se puede incorporar, con relativa limitación, en máquinas de molde de termoformado de pocas cavidades.
- Es de relativa facilidad, el control de las variables que intervienen en el sincronismo de movimiento con las demás partes de la estación de termoformado.
- La velocidad y fiabilidad de sus movimientos permiten aproximarse aun rendimiento de máquina de los 20 ciclos por minuto.

C) Desventajas.-

- Su aplicación es para moldes de termoformado de pocas cavidades.
- Sus dimensiones limitan su fácil incorporación en máquinas.
- Sus 77 componentes, aumentan las probabilidades de fallos y/o desgaste, frente a sistemas menos complejos
- Requiere lubricación.
- Mayor tiempo de mantenimiento.
- Mayor tiempo de cambio de molde.
- Mayor tiempo de ajuste en una puesta en marcha.
- Costo elevado de fabricación y adaptación a máquinas.
- Complejidad en operación.

5.2.3.1.2.- ALTERNATIVA 2: Sistema de termoformado con giro servo-asistido de molde.-

A) Descripción del sistema.-

El sistema de giro de molde mediante un sistema servo-asistido (Fig. 5.7 (a)), consiste en la generación de movimiento rotacional mediante un servomotor y una reductora (Fig. 5.7 (b)). Para poder sincronizar estos movimientos con los propios de la estación de termoformado, se incorpora el control de variables mediante la modificación de parámetros del servodriver por intermedio de la pantalla táctil de la máquina. Los

parámetros mas importantes a controlar son; la velocidad, aceleración y desaceleración del servo, y la posición angular que debe mantener el molde de termoformado.

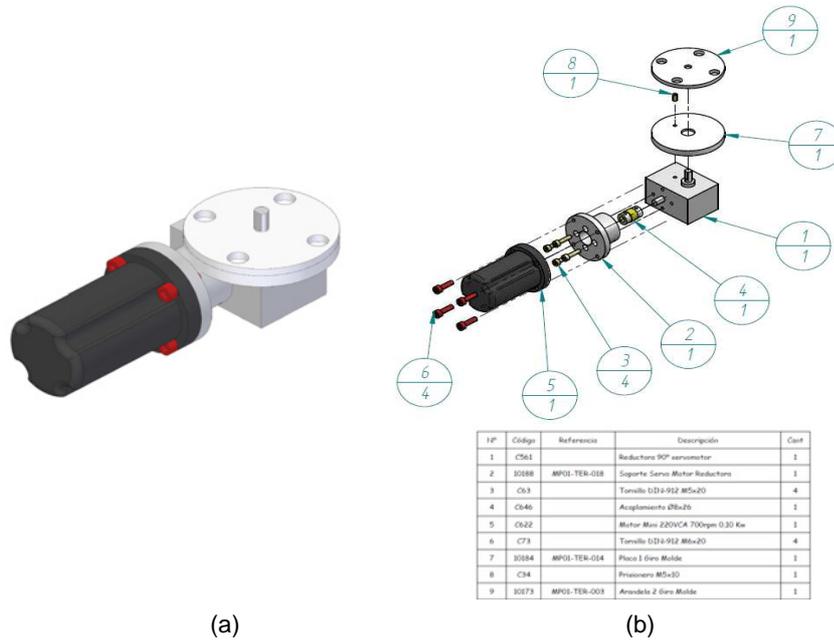


Fig. 5.7 Alternativa 2 : (a) Subconjunto giro servo-asistido. (b) Explosión subconjunto.

En la estación de termoformado (Fig. 5.8) se puede visualizar las dimensiones y la disposición que tendría este sistema en la máquina.

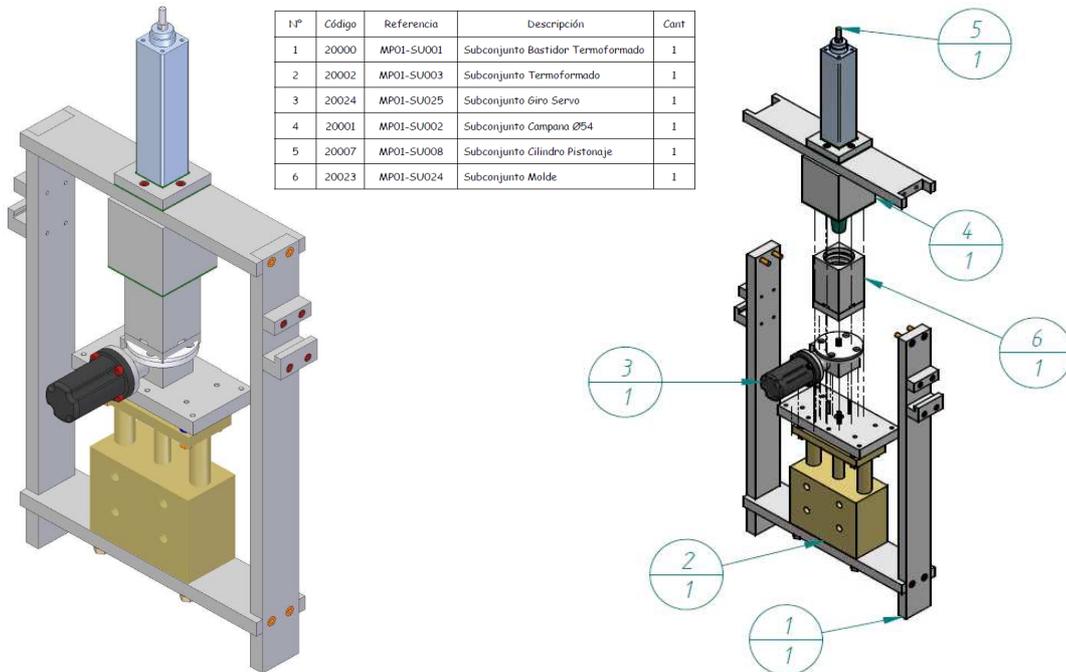


Fig. 5.8 Alternativa 2: Estación de termoformado con sistema servo-asistido incorporado.

B) Características Principales.-

- Requiere de la combinación de sistemas mecánicos y de automatismo.
- Es un sistema compacto y de gran fiabilidad.
- Es un sistema silencioso y de bajo mantenimiento.
- Se puede incorporar, con relativa limitación, en máquinas de molde de termoformado de pocas cavidades.
- Es de fácil modificación, el control de las variables que intervienen en el sincronismo de movimiento con las demás partes de la estación de termoformado.
- La velocidad y fiabilidad de sus movimientos permiten aproximarse aun rendimiento de máquina de los 20 ciclos por minuto.
- Sus 15 componentes, pueden significar menor probabilidad de fallo que el sistema anterior.

C) Desventajas.-

- Su aplicación es para moldes de termoformado de pocas cavidades.
- Sus dimensiones limitan su fácil incorporación en máquinas.
- Requiere de personal calificado para su puesta en marcha y mantenimiento.
- Mayor tiempo de ajuste/programación en una puesta en marcha.
- Costo elevado de fabricación y adaptación a máquinas.
- Consumo eléctrico mayor a las otras dos alternativas.
- Mayor tiempo de dedicación para cambio de molde de termoformado.

5.2.3.1.3.- ALTERNATIVA 3: Sistema de termoformado con giro neumático de molde.-**A) Descripción del sistema.-**

El sistema de giro de molde mediante un sistema neumático (Fig. 5.8 (a)), consiste en la generación de movimiento rotacional mediante un cilindro neumático del tipo rotativo de

270°. Las regulaciones de velocidad, aceleración y desaceleración se realizar mediante la incorporación de reguladores de caudal de aire en los ingresos del cilindro y mediante regulador de presión en la entrada de alimentación del aire del sistema. Se incorporarán detectores inductivos para el control de posiciones y sincronizar con los movimientos del resto de la estación de termoformado. Para poder sincronizar estos movimientos con los propios de la estación de termoformado, se incorpora el control de variables mediante sensores inductivos, reguladores de caudal y fines de carrera.

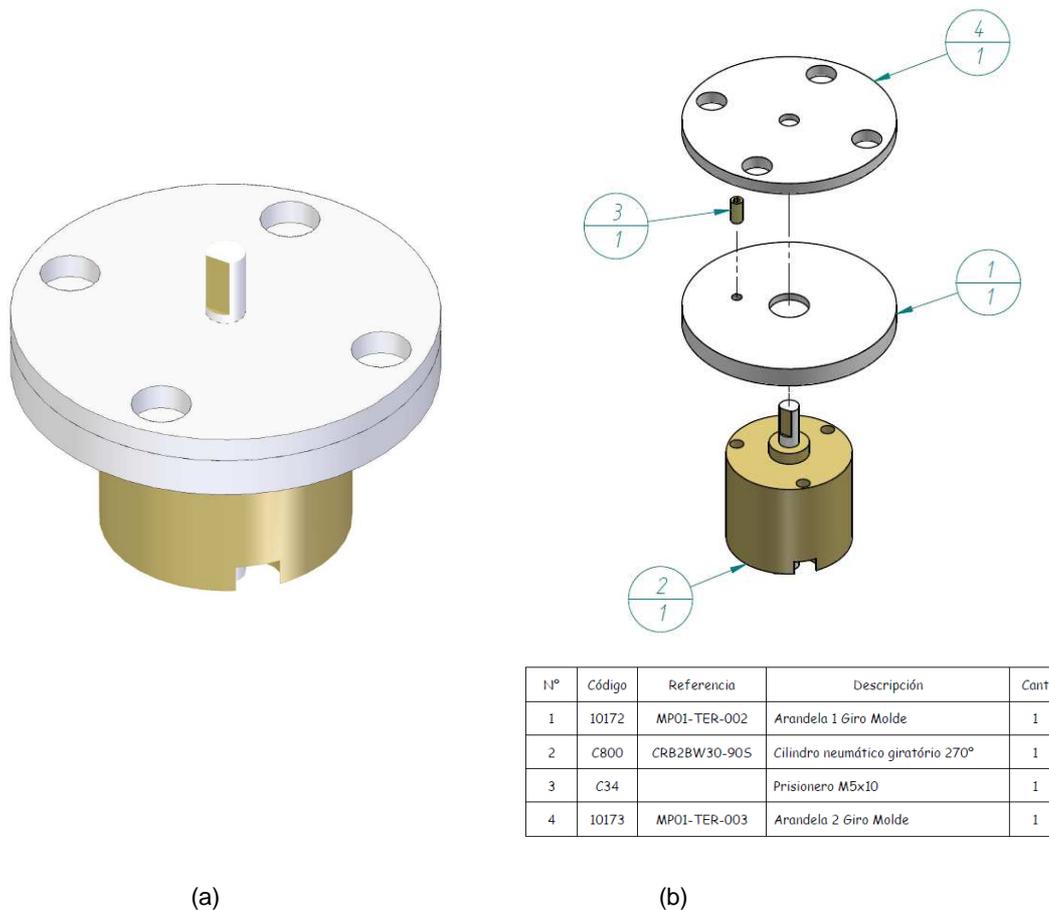
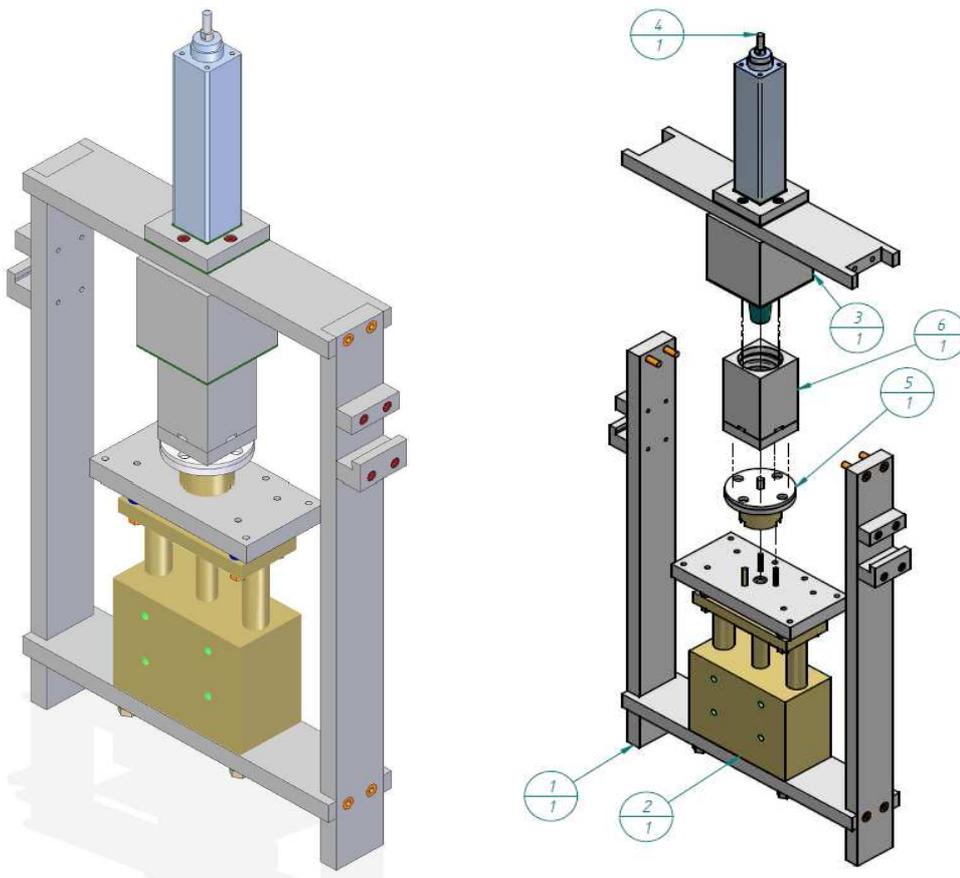


Fig. 5.9 Alternativa 3: (a) Subconjunto giro neumático. (b) Explosión subconjunto.

En la estación de termoformado (Fig. 5.10) se puede visualizar las dimensiones y la disposición que tendría este sistema en la máquina.



Nº	Código	Referencia	Descripción	Cant
1	20000	MP01-SU001	Subconjunto Bastidor Termoformado	1
2	20002	MP01-SU003	Subconjunto Termoformado	1
3	20001	MP01-SU002	Subconjunto Campana Ø54	1
4	20007	MP01-SU008	Subconjunto Cilindro Pistonaje	1
5	20003	MP01-SU004	Subconjunto Giro Neumático	1
6	20023	MP01-SU024	Subconjunto Molde	1

Fig. 5.10 Alternativa 3: Estación de termoformado con sistema de giro neumático incorporado.

B) Características Principales.-

- Requiere el uso exclusivo de sistema neumático.
- Es un sistema compacto y de gran fiabilidad.
- Es un sistema silencioso y de bajo mantenimiento.
- Se puede incorporar, con gran facilidad, en máquinas de molde de termoformado de pocas o varias cavidades.

- Una vez ajustada las variables, no requiere ajustes posteriores para mantener el sincronismo de movimiento con las demás partes de la estación de termoformado.
- La velocidad y fiabilidad de sus movimientos permiten aproximarse aun rendimiento de máquina de los 20 ciclos por minuto.
- Sus 4 componentes, representan una baja probabilidad de fallo y una fácil reparación o recambio de piezas.
- Costo de fabricación bajo.

C) Desventajas.-

- Mayor tiempo de ajuste en una puesta en marcha.
- Mayor consumo de aire, en comparación a las otras dos alternativas.
- Requiere de lubricación y mantenimiento con frecuencia del circuito de aire comprimido.
- Los ajustes y sincronismos con las demás partes de la estación de termoformado, dependen exclusivamente de la estabilidad del circuito de alimentación de aire.

5.2.3.2.- Selección de mejor alternativa.-

Para evaluar las alternativas consideradas se empleó la MATRIZ DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS. En primer lugar, se listan las características técnicas empleadas en la MATRIZ DE PLANIFICACIÓN DEL PRODUCTO, con sus respectivos valores objetivo (valores meta). También se añaden los factores de prioridad normalizados resultantes de la matriz anterior. Los valores de estas prioridades se revisan convenientemente para adaptarlas a las características de las alternativas objeto de valoración.

SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA		
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	VALORES OBJETIVOS (METAS)	FACTOR DE IMPORTANCIA NORMALIZADO
Geometría del envase.	INNOVADOR	5
Ciclos por minuto.	20 ciclos	3
Sincronismo en el proceso.	MUY CONTROLADA	3
Temperatura del material.	MUY CONTROLADA	3
Tiempo de parada para mantenimiento.	100 min.	1
Tiempo de cambio de molde.	10 min.	1
Tiempo de parada por puesta en marcha.	15 min.	2
Consumo de material de fondo (m ² / env.)	0,00396	1
Consumo de lubricante (euros / año)	50	2
Consumo eléctrico (euros / año)	4498	1
Consumo aire comprimido (euros / año)	1500	3
Coste de fabricación (euros / máquina)	140000	5
Coste de instalación (euros / estación)	18000	1
Coste de mantenimiento (euros / año)	12000	1
Coste de mano de obra (euros / año)	25000	2
Coste de envase termoformado (euros / env.)	0,0129	3

Tabla 5.11: Selección de la mejor alternativa.

Posteriormente se introducen en la fila superior las distintas alternativas y se asignan valores de 1 a 5, correspondiendo a un valor de 5, aquella alternativa que mejor satisfaga a la respetiva característica técnica.

Cada valor asignado se multiplica por el factor de importancia normalizado de la característica correspondiente. El resultado de esta operación para una alternativa se suma a los obtenidos para las restantes características. La mejor alternativa corresponde a aquella que haya obtenido mayor puntuación. En este caso la mejor alternativa corresponde al **SISTEMA DE TERMOFORMADO CON GIRO DE MOLDE NEUMÁTICO**.

MATRIZ DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS								
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	VALORES OBJETIVOS (METAS)	FACTOR DE PRIORIDAD	ALTERNATIVAS					
			1	2		3		
			SISTEMA DE TERMOFORMADO CON GIRO DE MOLDE NEUMÁTICO.	SISTEMA DE TERMOFORMADO CON GIRO DE MOLDE SERVO ASISTIDO.		SISTEMA DE TERMOFORMADO CON GIRO DE MOLDE MECÁNICO.		
Geometría del envase.	INNOVADOR	5	5	25	5	25	5	25
Ciclos por minuto.	20 ciclos	3	5	14	5	14	4	11
Sincronismo en el proceso.	MUY CONTROLADA	3	3	8	4	11	3	8
Temperatura del material.	MUY CONTROLADA	3		0		0		0
Tiempo de parada para mantenimiento.	100 min.	1	3	4	4	5	1	1
Tiempo de cambio de molde.	10 min.	1	4	6	3	4	1	1
Tiempo de parada por puesta en marcha.	15 min.	2	3	7	3	7	2	5
Consumo de material de fondo (m ² / env.)	0,00396	1		0		0		0
Consumo de lubricante (euros / año)	50	2	3	7	4	9	1	2
Consumo eléctrico (euros / año)	4498	1	4	4	2	2	3	3
Consumo aire comprimido (euros / año)	1500	3	3	9	4	12	3	9
Coste de fabricación (euros / máquina)	140000	5	4	20	2	10	1	5
Coste de instalación (euros / estación)	18000	1	3	4	3	4	2	3
Coste de mantenimiento (euros / año)	12000	1	4	6	4	6	1	1
Coste de mano de obra (euros / año)	25000	2		0		0		0
Coste de envase termoformado (euros / env.)	0,0129	3		0		0		0
			113	109		75		

Tabla 5.12.- Análisis y selección de alternativa.

OBSERVACIONES.-

- El punto crítico de la alternativa elegida es “coste de instalación”, debido a la complejidad del sistema utilizado y a su adaptación en las máquinas que actualmente están en producción.
- La alternativa 3 muestra puntos críticos que le generan desventaja frente a las demás, como: “tiempo de parada para mantenimiento”, “tiempo cambio de

molde” y “costo de mantenimiento”, todas ellas debido a la utilización de sistemas exclusivamente mecánicos para el giro del molde de termoformado.

- El sistema propuesto en la alternativa 2 es un mecanismo de mayor complejidad, de control y automatismo, a la alternativa 1, marcando diferencia en el “tiempo de cambio de molde”, “consumo eléctrico” y “costo de fabricación”.

5.2.3.3.- Determinación de las partes significativas del diseño.-

Una vez determinada la mejor alternativa se realizó un estudio más profundo de la misma. Se puso especial atención en aquellas características en las que había obtenido baja puntuación y se estableció un programa de trabajo para mejorar en dichos aspectos. El punto más débil de la alternativa escogida lo constituía el “coste de instalación” y el “tiempo de parada para el mantenimiento”. Debido a la especial importancia de estos puntos se consideró el estudio para la optimización del tiempo empleado en el mantenimiento, así como la reducción de coste en la instalación del sistema. Considerando los puntos críticos antes mencionados, se subdivide el diseño de la estación de precalentamiento y termoformado en 4 partes:

5.2.3.3.1.- Estación de precalentamiento.-

En el diseño se debe considerar una estación previa a la de termoformado para el calentamiento del material que luego se termoformará en envases. Esta estación debe tener un eficiente control de temperatura del material a termoformar, ya que de esto dependen los ciclos por minuto y la uniformidad en el espesor del envase deseado.

5.2.3.3.2.- Grupo de elevación de la estación de termoformado.-

Esta parte de la estación se encargará de realizar los movimientos verticales del molde de termoformado, utilizando mecanismos neumáticos y electro-mecánicos, para poder manejar las variables de aceleración, velocidad y desaceleración deseada para poder sincronizarlo con las demás fases del proceso del termoformado.

5.2.3.3.3.- Sistema de molde y termoformado.-

Este sistema es el que se encargará en convertir el material calentado en envases termoformados, mediante la inyección de aire presurizado y/o vacío, refrigeración de molde, así como el sincronismo entre los movimientos de cierre y apertura, mediante el giro neumático del molde.

5.2.3.3.4.- Sistema de pistonaje.-

El sistema de pistonaje realiza los movimientos verticales de los punzones (piezas encargadas de desplazar el material calentado hacia el interior del molde para el inicio de termoformado). Estos movimientos los tiene que realizar de forma sincronizada con las demás fases del proceso y con el control completo de las variables de aceleración, velocidad, desaceleración, presión y tiempo de desplazamiento.

5.2.4.- FASE 3: Matriz de desarrollo de las partes significativas del diseño.-

5.2.4.1.- Determinación de las partes y subsistemas significativos.-

Empleando la *MATRIZ DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS* como base se determinaron las partes del sistema escogido. Las 4 partes significativas con sus características más representativas fueron las siguientes:

- ESTACIÓN DE PRECALENTAMIENTO.
- GRUPO DE ELEVACIÓN DE LA ESTACIÓN DE TERMOFORMADO.
- SISTEMA DE MOLDE Y TERMOFORMADO.
- SISTEMA DE PISTONAJE.

Tal y como ocurrió en la *MATRIZ DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS*, las características técnicas identificadas en la *MATRIZ DE PLANIFICACIÓN* pasan a ser ahora las “necesidades” o “requerimientos” que deben satisfacer las características técnicas de las Partes significativas de la Alternativa escogida. Los factores de

importancia de cada una de estas características técnicas se colocaran en la columna correspondiente a los factores de prioridad.

REQUERIMIENTOS DE LAS PARTES DEL PRODUCTO		
	VALORES OBJETIVOS (METAS)	FACTOR DE PRIORIDAD
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
Geometría del envase.	INNOVADOR	5
Ciclos por minuto.	20 ciclos	3
Sincronismo en el proceso.	MUY CONTROLADA	3
Temperatura del material.	MUY CONTROLADA	3
Tiempo de parada para mantenimiento.	100 min.	1
Tiempo de cambio de molde.	10 min.	1
Tiempo de parada por puesta en marcha.	15 min.	2
Consumo de material de fondo (m ² / env.)	0,00396	1
Consumo de lubricante (euros / año)	50	2
Consumo eléctrico (euros / año)	4498	1
Consumo aire comprimido (euros / año)	1500	3
Coste de fabricación (euros / máquina)	140000	5
Coste de instalación (euros / estación)	18000	1
Coste de mantenimiento (euros / año)	12000	1
Coste de mano de obra (euros / año)	25000	2
Coste de envase termoformado (euros / env.)	0,0129	3

Tabla 5.13: Requerimientos de las partes del producto.

5.2.4.2.- Identificación de las características técnicas asociadas a requerimientos técnicos.-

Para cada una de los sistemas se determinaron las características técnicas asociadas a los requerimientos del producto:

- ESTACIÓN DE PRECALENTAMIENTO:

- PRECALENTAMIENTO EN DOS SECUENCIAS:

Se debe realizar el calentamiento del material en dos secuencias, es decir, mediante dos subestaciones de precalentamiento. Así la transferencia de temperatura se realizará más homogénea y sin deformación del material.

- TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO CONTROLADA:

Se debe tener un eficiente control de temperatura de las placas de precalentamiento, así como del material a termoformar.

- REVESTIMIENTO DE TEFLÓN:

Las placas de precalentamiento deben tener un recubrimiento de teflón, para evitar la adherencia del material de fondo en su superficie.

- GRUPO DE ELEVACIÓN DE LA ESTACIÓN DE TERMOFORMADO:

- CONTROL DE VARIABLES DE DESPLAZAMIENTO.

Se debe tener un control total de las variables de aceleración, velocidad y desaceleración del desplazamiento vertical del grupo de elevación.

- AJUSTE INDEPENDIENTE DE RECORRIDO.

El recorrido vertical del grupo de elevación se debe ajustar mediante detectores magnéticos en saltos de 5 mm, según lo requiera el operario.

- SISTEMA DE MOLDE Y TERMOFORMADO:

- CIERRE Y APERTURA DE MOLDE MEDIANTE DESPLAZAMIENTO RADIAL.

Se refiere a un sistema de termoformado en el cual el molde realiza el cierre y la apertura mediante un desplazamiento radial sobre el eje del molde, para ello requiere un control total de las variables de aceleración, velocidad y desaceleración del cierre y apertura del molde.

- CONTROL DE TEMPERATURA DE MOLDE.

Debe existir una temperatura adecuada y estable en el molde de termoformado, para garantizar la definición geométrica del envase.

- HERMETICIDAD DE CIERRE MOLDE / CAMPANA:

Los movimientos de cierre y apertura del molde de termoformado se deben realizar garantizando una hermeticidad entre las superficies de contacto del molde y la campana. Con lo cual se garantiza una correcta definición del envase.

- SISTEMA DE PISTONAJE:

- CONTROL DE VARIABLES DE DESPLAZAMIENTO.

Se debe tener un control total de las variables de aceleración, velocidad y desaceleración del desplazamiento vertical de los punzones de termoformado.

- CONTROL DE PRESIÓN Y CAUDAL DE AIRE Y/O VACÍO.

La presión y caudal del flujo de aire y/o vacío que ingresa a la cavidad del pistonaje define la geometría y correcta distribución del material en el envase termoformado.

CUADRO DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.									
SUBSISTEMAS									
ESTACIÓN DE PRECALENTAMIENTO.			GRUPO DE ELEVACIÓN DE LA ESTACIÓN DE TERMOFORMADO.		SISTEMA DE MOLDE Y TERMOFORMADO.			SISTEMA DE PISTONAJE	
Precalentamiento en dos secuencias.	Temperatura de calentamiento controlada.	Revestimiento de teflón.	Control de variables de desplazamiento.	Ajuste independiente de recorrido.	Cierre y apertura de molde mediante desplazamiento radial.	Control de temperatura de molde.	Hermeticidad de cierre molde / campana.	Control de variables de desplazamiento.	Control de presión y caudal de aire y/o vacío.

Tabla 5.14: Características técnicas de la alternativa seleccionada.

5.2.4.3.- Interrelación características técnicas / requerimientos de subsistemas.-

Tal y como se procedió en la Matriz de Planificación, una vez establecidas los Requerimientos Técnicos del producto y las características de cada subsistema, se establecieron relaciones entre ambas para poder definir el grado de satisfacción con el que las características técnicas satisfacen los requerimientos técnicos del producto. Se consideró la meta asociada a cada característica (valores objetivos o meta) para comprobar en qué grado se satisface la necesidad de nuestro cliente. Se emplearon los pesos 5-3-1 reservando el mayor peso para las relaciones más fuertes.

INTERRELACIÓN CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS / REQUERIMIENTOS DE SUBSISTEMAS.										
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	REQUERIMIENTOS DE SUBSISTEMAS									
	ESTACIÓN DE PRECALENTAMIENTO			GRUPO DE ELEVACIÓN DE LA ESTACIÓN DE TERMOFORMADO.			SISTEMA DE MOLDE Y TERMOFORMADO		SISTEMA DE PISTONAJE	
	Precalentamiento en dos secuencias.	Temperatura de calentamiento controlada.	Revestimiento de teflón.	Control de variables de desplazamiento.	Ajuste independiente de recorrido.	Cierre y apertura de molde mediante desplazamiento radial.	Control de temperatura de molde.	Hermeticidad de cierre molde / campana.	Control de variables de desplazamiento.	Control de presión y caudal de aire y/o vacío.
Geometría del envase.	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5
Ciclos por minuto.	3	5		5	5	5	5		5	5
Sincronismo en el proceso.						5				3
Temperatura del material.	5	5	1				3			
Tiempo de parada para mantenimiento.			5		3	1	1	3		
Tiempo de cambio de molde.				1	3	1	1	1	1	
Tiempo de parada por puesta en marcha.								5		1
Consumo de material de fondo (m ² / env.)										
Consumo de lubricante (euros / año)							3			
Consumo eléctrico (euros / año)	1	3		3		1			1	
Consumo aire comprimido (euros / año)						1	1	3	1	5
Coste de fabricación (euros / máquina)		3	3	5	3	3	1	1	3	
Coste de instalación (euros / estación)		3			1	1			1	
Coste de mantenimiento (euros / año)	1		3	3	3	1	1	3	1	1
Coste de mano de obra (euros / año)				1		1	1			
Coste de envase termoformado (euros / env.)			1	1	1			1	3	

Tabla 5.15: Interrelación características técnicas / requerimientos subsistemas.

5.2.4.4.- Valores objetivos preliminares.-

Se establecieron los valores objetivos preliminares que debían cumplir las características técnicas de cada subsistema.

VALORES OBJETIVOS PRELIMINARES	
REQUERIMIENTOS DE SUBSISTEMAS	
VALORES OBJETIVOS (METAS)	
1 placa superior y 1 placas inferior en 2 secuencias.	Precalentamiento en dos secuencias.
de 30 a 200 °C. en saltos de 1 °C.	Temperatura de calentamiento controlada.
0,1 milímetro de recubrimiento.	Revestimiento de teflón.
Ajustes rampas aceleración, velocidad y desaceleración.	Control de variables de desplazamiento.
Ajustes en saltos de 5 mm.	Ajuste independiente de recorrido.
Ajustes y sincronización de rampas aceleración, velocidad y desaceleración.	Cierre y apertura de molde mediante desplazamiento radial.
de 5 a 70°C en saltos de 1 °C.	Control de temperatura de molde.
0,01 mm. de tolerancia	Hermeticidad de cierre molde / campana.
ajustes rampas aceleración, velocidad y desaceleración.	Control de variables de desplazamiento.
de 0,1 a 10 bar y de 0 a 100% de flujo.	Control de presión y caudal de aire y/o vacío.

Tabla 5. 16: Valores objetivos preliminares.

5.2.4.5.- Interrelación entre las características técnicas.-

Se realizó una correlación entre los “comos” o techo de la Calidad teniendo en cuenta los valores objetivo para cada una de las características técnicas.

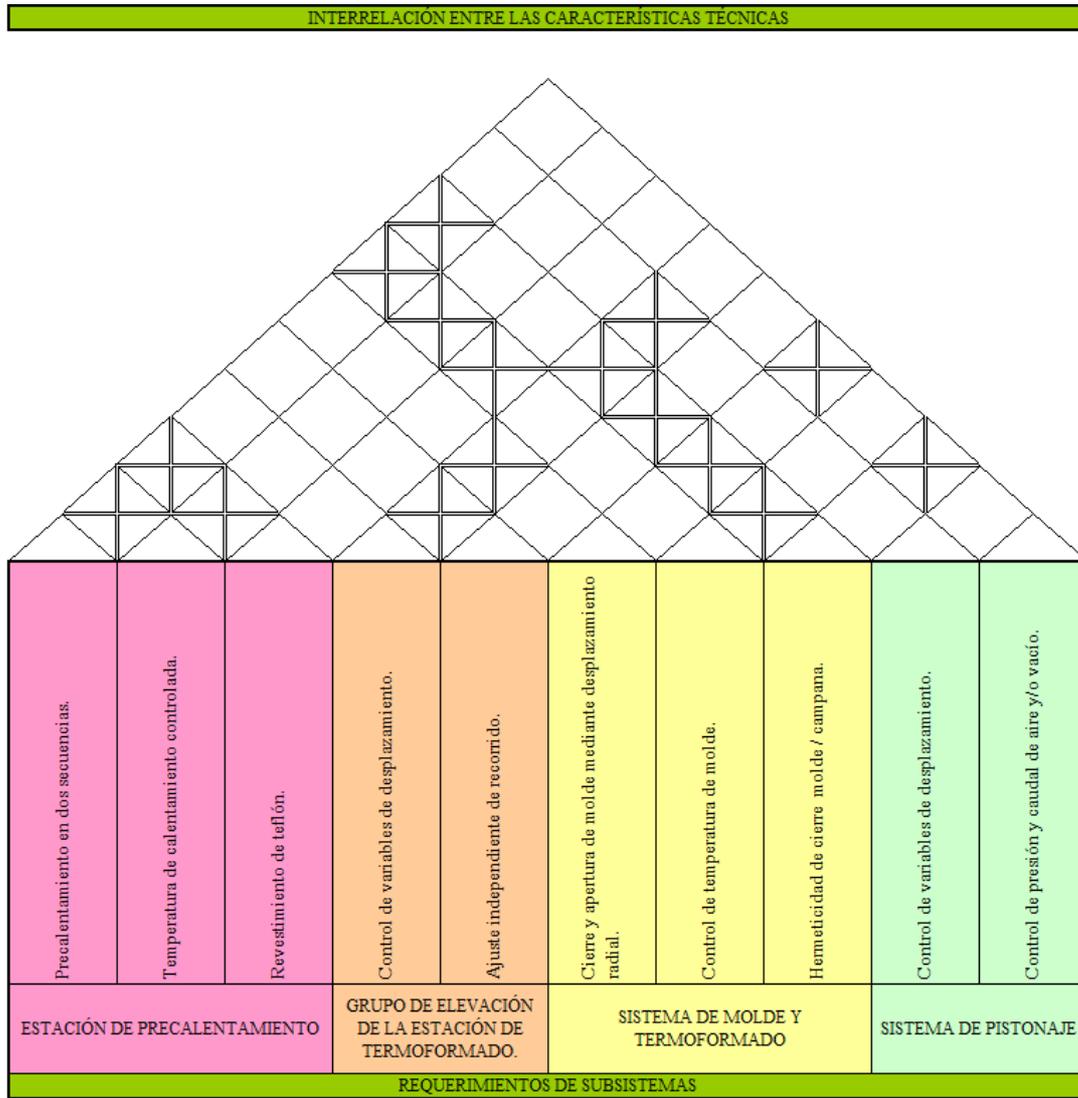


Tabla 5.17: Interrelación entre las características técnicas.

5.2.4.6.- Factores de importancia normalizados.-

Se calcularon posteriormente los FACTORES DE IMPORTANCIA NORMALIZADOS de cada característica técnica de los subsistemas, sumando los valores de cada columna obtenidos de la multiplicación de la interrelación de esa característica con el requerimiento del producto y su factor de prioridad. El valor resultante de dicha operación fue normalizado con un rango de 1 a 5.

CUADRO DE FACTOR DE IMPORTANCIA NORMALIZADA										
	REQUERIMIENTOS DE SUBSISTEMAS									
	ESTACIÓN DE PRECALENTAMIENTO			GRUPO DE ELEVACIÓN DE LA ESTACIÓN DE TERMOFORMADO.		SISTEMA DE MOLDE Y TERMOFORMADO			SISTEMA DE PISTONAJE	
	Precalentamiento en dos secuencias.	Temperatura de calentamiento controlada.	Revestimiento de teflón.	Control de variables de desplazamiento.	Ajuste independiente de recorrido.	Cierre y apertura de molde mediante desplazamiento radial.	Control de temperatura de molde.	Hermeticidad de cierre molde / campana.	Control de variables de desplazamiento.	Control de presión y caudal de aire y/o vacío.
FACTOR DE IMPORTANCIA	48,7	73,7	45,9	77,5	70,4	79,5	68,0	62,8	70,3	66,2
FACTOR DE IMPORTANCIA NORMALIZADO	3	5	3	5	4	5	4	4	4	4

Tabla 5.18: Factores de importancia normalizados.

5.2.4.7.- Determinar las acciones a realizar.-

Una vez completada la matriz de Planificación del Desarrollo de los Componentes, se prestó especial atención a las características técnicas cuyos factores de importancia habían sido iguales a 5. Estas características se convirtieron a partir de entonces en las CLAVES CRÍTICAS PARA EL ÉXITO DEL PROYECTO.

- Característica crítica 1: Temperatura de precalentamiento controlada.
- Característica crítica 2: Control de variables de desplazamiento.
- Característica crítica 3: Cierre y apertura de molde mediante desplazamiento radial.

6.- DISEÑO CONCEPTUAL Y DE DETALLE.-

El marco de definición de como ha de ser el nuevo producto, está básicamente compuesto por los objetivos y las especificaciones de diseño, gracias a la aplicación del QFD se pudo determinar claramente cuál era la alternativa óptima para satisfacer las necesidades del cliente. También se pudieron identificar las partes fundamentales de la misma y cuáles eran los requisitos que debía satisfacer cada una de estas partes.

A partir de este momento se procede al diseño de la máquina con la cual obtendremos el envase termoformado con geometría especial. Esta etapa la hemos dividido en “Diseño Conceptual” y “Diseño de Detalle”.

6.1.- Diseño conceptual.-

El “diseño conceptual de ingeniería de producto” se refiere a la parte más creativa en el desarrollo del producto [83], tiene que ver con la ingeniería del objeto, con las funciones, los elementos que lo conforman y sus características. Uno de los puntos difíciles de determinar o predecir al principio de un desarrollo de ingeniería de producto, es el esfuerzo creativo que requerirá un determinado diseño. El resultado creativo de un equipo de diseño depende de muchos factores y del momento feliz de la inspiración que permita iniciar un nuevo diseño, aunque esa idea feliz pueda aparecer en cualquier momento. Por la propia experiencia y la de muchos, puede decirse que la buena inspiración viene después de un trabajo arduo y constante (de recopilación de información, análisis de nuevas tecnologías, etc.), aunque normalmente compartido con otros diseños o trabajos, que hacen el efecto de periodos de incubación para el diseño en cuestión. El esfuerzo creativo también está definido por las especificaciones del producto, unas especificaciones poco restrictivas dejan un amplio margen creativo, mientras que las especificaciones numerosas y restrictivas dejan poco margen creativo. [84]

A continuación, se propone una tabla que indica el esfuerzo creativo necesario en función de los parámetros: objetivos y especificaciones que ha de cumplir en el diseño conceptual.

	ESPECIFICACIONES POCO RESTRICTIVAS	GRAN NÚMERO DE ESPECIFICACIONES RESTRICTIVAS
OBJETIVOS AMPLIOS	Esfuerzo creativo mínimo.	Esfuerzo creativo medio.
OBJETIVOS REDUCIDOS	Esfuerzo creativo medio.	Gran esfuerzo creativo.

Fig. 6.1: Esfuerzos creativos extremos en función de objetivos y especificaciones [84].

El equipo de trabajo de diseño está formado conjuntamente con el departamento de diseño de la empresa JEMA.MC, y se ha considerado que como punto de inicio se establezcan las bases de diseño según las características críticas identificadas en el QFD (Fig. 6.2) donde esté especificado a la cabeza del diagrama, el principal objetivo, y seguidamente, las especificaciones principales o características críticas de diseño y las especificaciones secundarias, agrupadas según la estación de máquina a la cual correspondan.

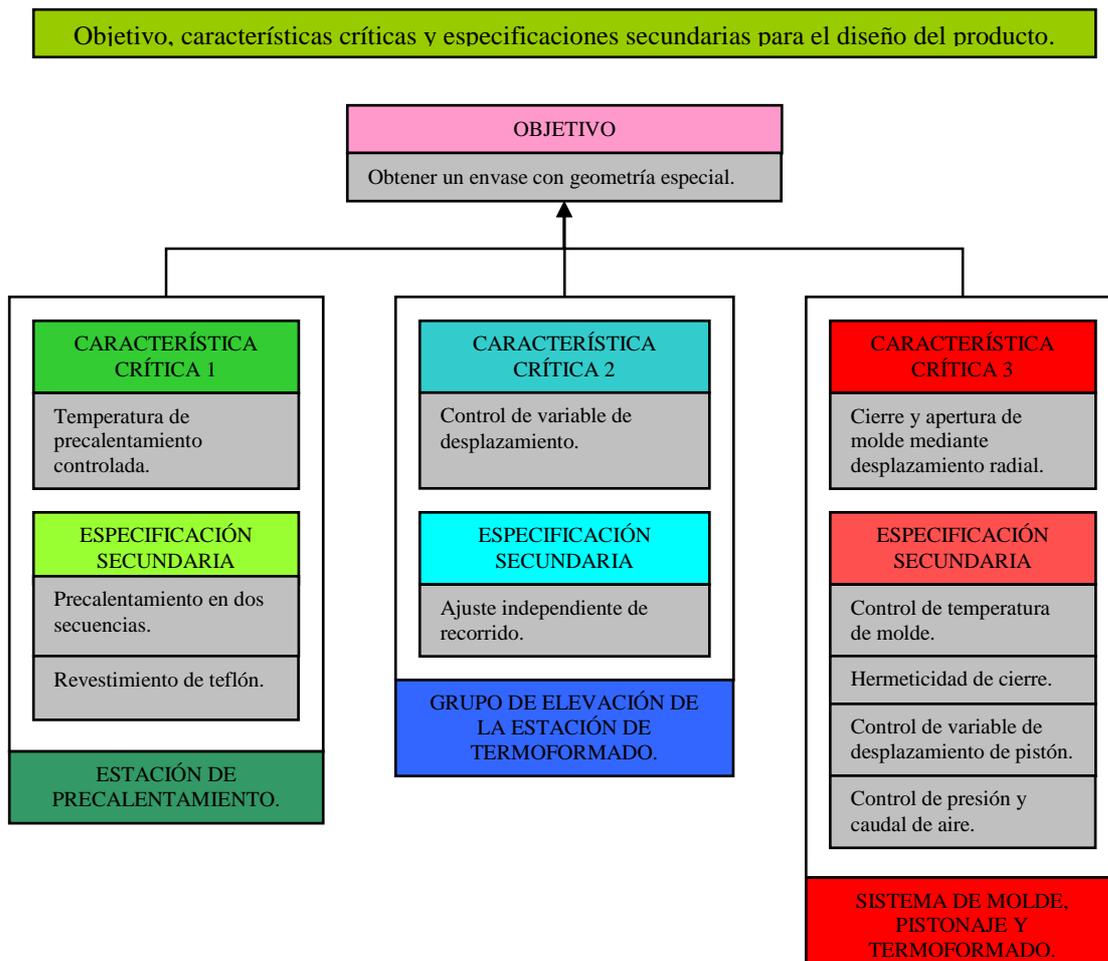


Fig. 6.2: Bases para el diseño conceptual a partir de las características críticas identificadas en el QFD.

Seguidamente y teniendo resumido las especificaciones a considerar en el diseño, procederemos a describir, con mas detalle, el funcionamiento de las estaciones de máquina que están relacionadas directamente con las características críticas identificadas en el QFD, con la finalidad de definir los detalles técnicos con los cuales lograremos las características críticas exigidas por el método de diseño.

6.1.1.- Estación de precalentamiento.-

Esta estación es la encargada de precalentar las zonas del film que serán destinadas al termoformado del envase. El proceso de precalentamiento se debe realizar a una determinada temperatura, presión de contacto, tiempo y uniformidad en la zona a precalentar.

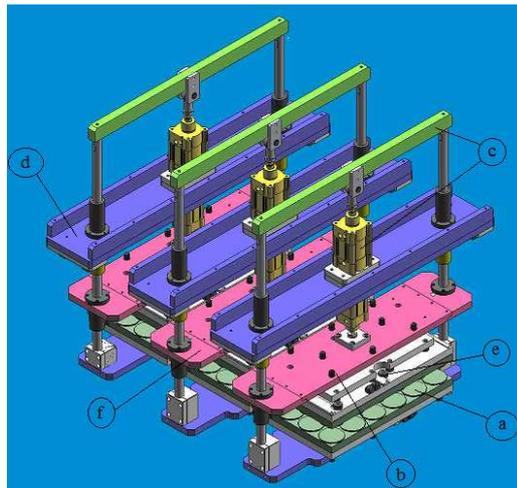


Fig. 6.3: Partes de una estación de precalentamiento [22].

Las partes principales de una estación de precalentamiento (Fig. 6.3) son:

- a) Placa de precalentamiento.
- b) Sistema de ajuste de presión.
- c) Mecanismo de elevación.
- d) Sistema de fijación a bastidor de máquina.
- e) Control de temperatura.
- f) Sistema de refrigeración.

El comportamiento del film en el proceso de precalentamiento no es siempre el mismo, ya que la composición de éste varía según el producto a envasar. El film es un material multicapas (Fig. 6.4), que es fabricado mediante el proceso de extrusión, incorporándose posteriormente distintas láminas que conjuntamente pasarían por un proceso de laminado.

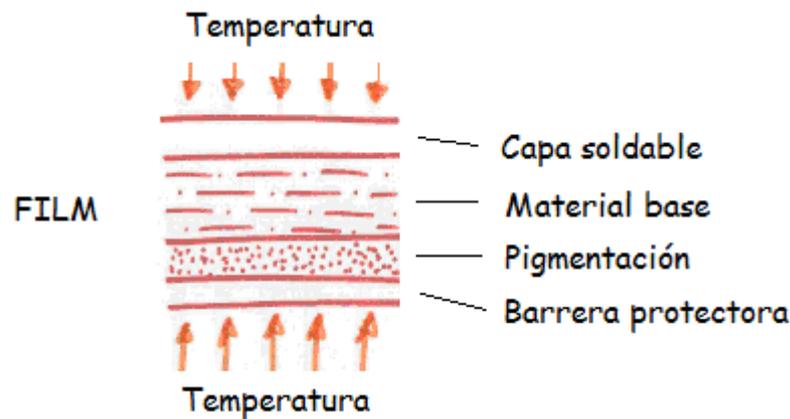


Fig. 6.4: Capas que forman el Film o material de fondo [22].

- **CAPA SOLDABLE.**- Es una capa muy fina de un material termosoldable que reacciona a temperaturas de entre 180 a 220 °C, fundiéndose con el material de tapa. Esta capa debe estar siempre dispuesta en la cara superior del film, siendo la única que tienen contacto con el punzón de termoformado. En el proceso de precalentamiento para el termoformado, la temperatura a la cual no debe exceder el film es de 160 °C, (dependiendo siempre del tipo de material base), por encima de ésta temperatura puede generarse degradaciones de la capa soldable, descolgamientos, y deformaciones no deseadas del film.
- **MATERIAL BASE** – Es la capa con mayor porcentaje de presencia en el espesor del film, los materiales más usados son: polietileno, polipropileno, poliestireno, entre otros. Las propiedades térmicas y estructurales determinan los parámetros que priorizan en tipo y magnitud para lograr un envase termoformado aceptable.
- **PIGMENTACIÓN.**- Es la capa que determina la uniformidad del color en el envase, y en consecuencia define, hasta cierto punto, el acabado estético final. Dependiendo

del acabado estético que se busque en el film pueden participar hasta 3 capas de pigmentación, en la cara superior, inferior y central.

- **BARRERA PROTECTORA.**- El uso de envases termoformado para el envasado de productos alimentarios obliga a incorporar en film una o mas capas de material que cumplen la función de barreras protectoras frente a los elementos contaminantes externos presentes en todo el proceso de envasado, soldado, almacenaje, traslado, comercializado, etc.

Las variables que pueden existir en la composición y uso del film (materiales, espesores, capas, aplicaciones, colores, etc.), exigen a que las máquinas de termoformado estén preparadas mecánicamente y tengan la capacidad de control de todas aquellas variables que se requieren para el correcto precalentamiento y en consecuencia termoformado. (Fig. 6.4).

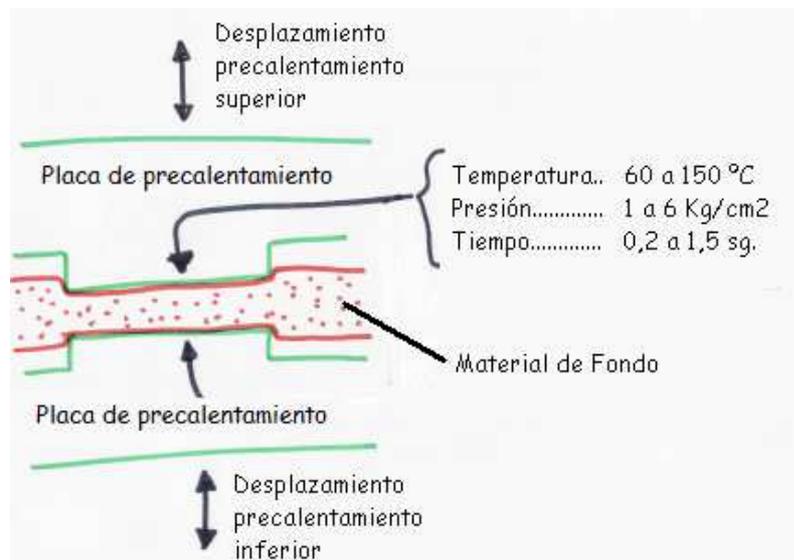


Fig. 6.5: Variables que intervienen en el proceso de precalentamiento [22].

Después de la descripción y el análisis de la estación de precalentamiento, se plantean las propuestas de diseño para; lograr la primera característica crítica y satisfacer las dos especificaciones secundarias identificadas por el método de diseño para esta estación.

ESTACIÓN DE PRECALENTAMIENTO	
CARACTERÍSTICA CRÍTICA 1: Temperatura de precalentamiento controlada.	
PROPUESTA PARA DISEÑO	
<p>Considerar dos sensores de temperatura por cada resistencia, ubicados en las zonas más críticas, por estabilidad de temperatura. En el diagrama eléctrico adjunto se incluyen ST1 y ST11 como sensores de temperatura para controlar la resistencia RA1 y ST2 y ST22 para la resistencia RA2.</p>	<p>Utilización de controladores de temperatura tipo E5ZN, de rango múltiple, con función de alarma, control 2-PID (a diferencia del PID, el algoritmo usado ofrece una respuesta óptima frente a las perturbaciones, en consecuencia un control mas estable de la temperatura) y control multilazo (la etapa de control se realimenta con la señal de salida, aumentando la sensibilidad de respuesta)</p>
<p>PLACA DE PRECALENTAMIENTO SUPERIOR (ZONA CENTRAL Y LATERAL)</p>	<p>PLACA DE PRECALENTAMIENTO INFERIOR (ZONA CENTRAL Y LATERAL)</p>
ESPECIFICACIONES SECUNDARIAS:	
Precalentamiento en dos secuencias.	Revestimiento de teflón.
PROPUESTA PARA DISEÑO	
<p>En el diseño se contempla la reducción de la separación de 30mm a la mitad, con lo cual el tiempo que se requiere para el cierre será la mitad del usado actualmente. Esta medida puede ser implantada solamente si se garantiza una uniformidad en la distribución de la temperatura en las placas, uniformidad que obtendríamos con las dos propuestas anteriores.</p>	<p>0,1 milímetro de recubrimiento en toda la superficie de la placa de precalentamiento con el film. Imagen superior sin revestimiento de Teflón, imagen inferior con revestimiento de teflón (superficie en verde).</p>

Fig. 6.6: Propuesta de diseño para la característica crítica 1 y especificaciones secundarias de la estación de precalentamiento.

6.1.2.- Estación de termoformado.-

Esta estación está situada a continuación de la estación de precalentamiento y está dividido en: grupo de elevación, sistema de pistonaje y molde de termoformado. Esta estación es la encargada de transformar el film precalentado en envase con la geometría definida por el molde.

El proceso de termoformado se desarrolla de la siguiente manera:

1º Posterior a la secuencia de precalentamiento, el film es desplazado mediante el sistema de tracción de material (Fig. 6.7 (a)) hasta la estación de termoformado, de tal forma que la superficie precalentada del film, coincida con la superficie de la cavidad del molde en el cual se formará el envase deseado. (Fig. 6.7 (b))

2º Una vez posicionada la superficie precalentada sobre la cavidad del molde, se inicia el desplazamiento vertical hacia arriba del molde de termoformado, mediante el grupo de elevación. Generando un cierre hermético entre el molde de termoformado, film y campana. (Fig. 6.7 (c))

3º Inmediatamente se inicia el desplazamiento vertical hacia abajo del punzón, (Fig. 6.7 (d)) el cual se encargará de desplazar mecánicamente el film precalentado al interior de la cavidad del molde, este desplazamiento debe ser controlado en aceleración, velocidad, desaceleración y distancia, ya que en función a éstas variables se sincroniza el inicio de los demás factores que intervienen en el proceso. En la distancia previamente definida del recorrido del punzón, se inicia la secuencia de soplado, en la cual se inyecta un determinado volumen de aire a una determinada presión, con la finalidad de continuar el desplazamiento del film al interior de la cavidad del molde, pero por acción neumática. Para determinadas geometrías de envase se requiere de la inyección de vacío, en la etapa final de desplazamiento del film o en paralelo a la inyección de presión de aire, con la finalidad de obtener una mejor definición del envase o una reducción del tiempo que se requiere en esta etapa del proceso. (Fig. 6.7 (e))

4º Una vez obtenido el envase termoformado con la geometría definida por el molde, el punzón retorna a su posición de reposo, se termina la secuencia de soplado y/o vacío y se procede a la fase de descompresión (Fig. 6.7 (f)) y desmoldeo. Esta fase se inicia

con el desplazamiento vertical hacia abajo del molde, liberando la forma y longitud del envase termoformado, hasta llegar a su posición de reposo, a la espera del siguiente ciclo de termoformado (Fig. 6.7 (g)) y desplazándose el envase, mediante el sistema de tracción, hasta la siguiente estación (Fig. 6.7 (h)). En esta etapa influye mucho la geometría del envase para que se pueda realizar de forma adecuada el proceso de desmoldeo. Cuando la geometría del envase tiene protuberancias o no tiene el ángulo de desmoldeo requerido, se requiere de sistemas mecánicos con los cuales se realizan desplazamientos y/o aperturas de molde con los cuales se logra liberar la forma del envase termoformado con la geometría de la cavidad del molde, sin generar colisiones ni fricciones que perjudicarían al envase.

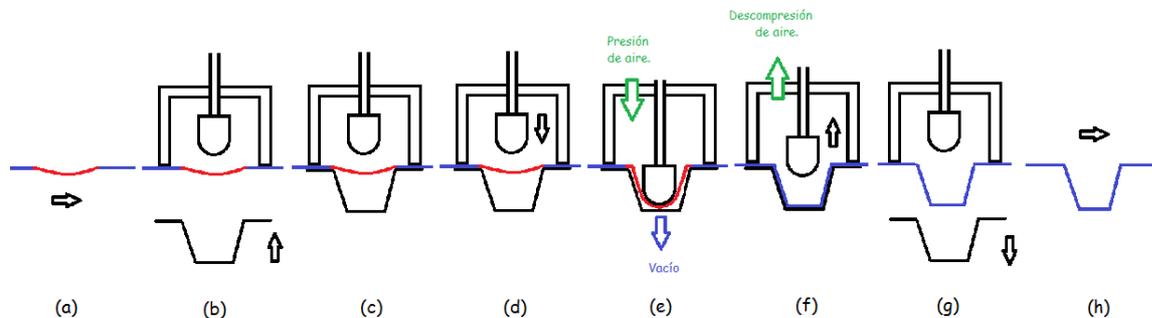


Fig. 6.7: Fases del proceso de termoformado.

6.1.2.1.- Grupo de elevación.-

El grupo de elevación (b) es el encargado de realizar los movimientos verticales de desplazamiento del molde (a), realizando la apertura y cierre del mismo con respecto a la campana de termoformado (d) que se encuentra posicionada de forma fija en el bastidor de la máquina (e). El movimiento de este mecanismo lo realiza, generalmente, un cilindro neumático (c), controlando sus movimientos mediante reguladores de caudal y presión de aire (Fig. 6.8)

Después de la descripción y el análisis de la estación del grupo de elevación del termoformado, se plantean las propuestas de diseño para; lograr la segunda característica crítica y satisfacer la especificación secundaria identificada por el método de diseño para esta estación.

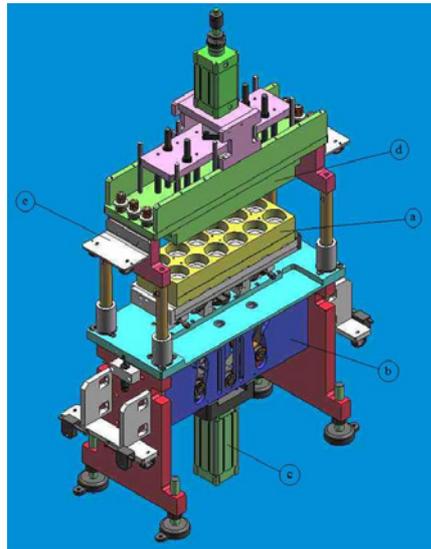
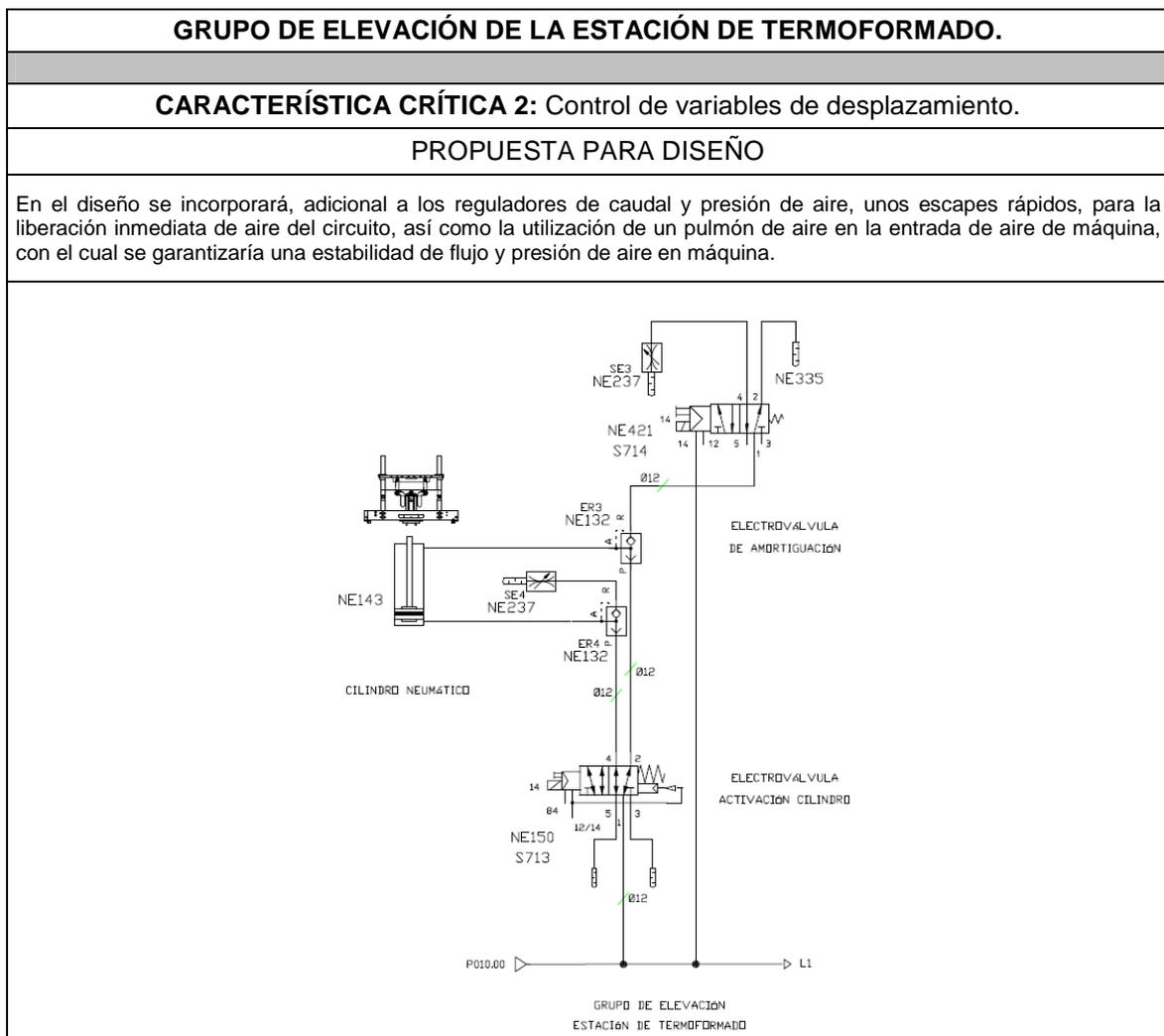


Fig. 6.8: Partes del grupo de elevación de la estación de termoformado [22].



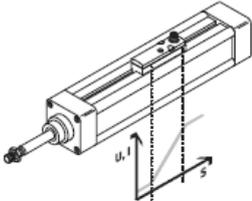
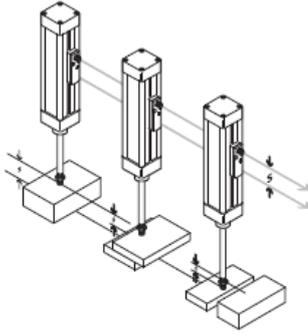
ESPECIFICACIONES SECUNDARIAS:	
Ajuste independiente de recorrido.	
PROPUESTA PARA DISEÑO	
<p>Para el ajuste independiente, se incorporará en el diseño, detectores inductivos (modelo SME-8-FM-DS de Festo) para el cilindro neumático, con el cual definiremos el momento en el cual se emitirá la señal de confirmación de desplazamiento del grupo de elevación y en consecuencia desencadenará el inicio de las siguientes etapas de termoformado. Este detector puede instalarse en cualquier posición a lo largo del recorrido del vástago del cilindro.</p>	
 <p>SME-8-FM-DS</p>	
	

Fig. 6.9: Propuesta de diseño para la característica crítica 2 y especificaciones secundarias del grupo de elevación de estación de termoformado.

6.1.2.2.- Sistema de pistonaje.-

El sistema de pistonaje es el encargado de aportar las fuerzas mecánicas y neumáticas necesarias para desplazar el film, previamente calentado, hacia el interior de la cavidad del molde de termoformado (e). El sistema está formado por una parte móvil, que es la placa porta pistones (b), la cual se desplaza verticalmente por acción de un cilindro neumático, llamado de pistonaje (a) y por una parte fija formada por la campana de termoformado (c) y la placa de pistonaje (d), la cual le da rigidez al sistema fijándola con el bastidor de la máquina. Este sistema depende neumáticamente de electroválvulas, reguladores de presión y caudal de aire, quienes son los encargados de completar y definir el desplazamiento del film (Fig. 6.10).

Desde el inicio de desplazamiento, la fuerza, la aceleración, desaceleración, la velocidad y el tiempo que tarda en desplazar el material de fondo hacia la cavidad del molde y la sincronización con el inicio del soplado (mediante la presurización de la campana) e inyección de vacío (mediante el molde de termoformado) determina la

uniformidad en la distribución del film en las paredes del envase, la definición de la geometría deseada y el rendimiento de la máquina.

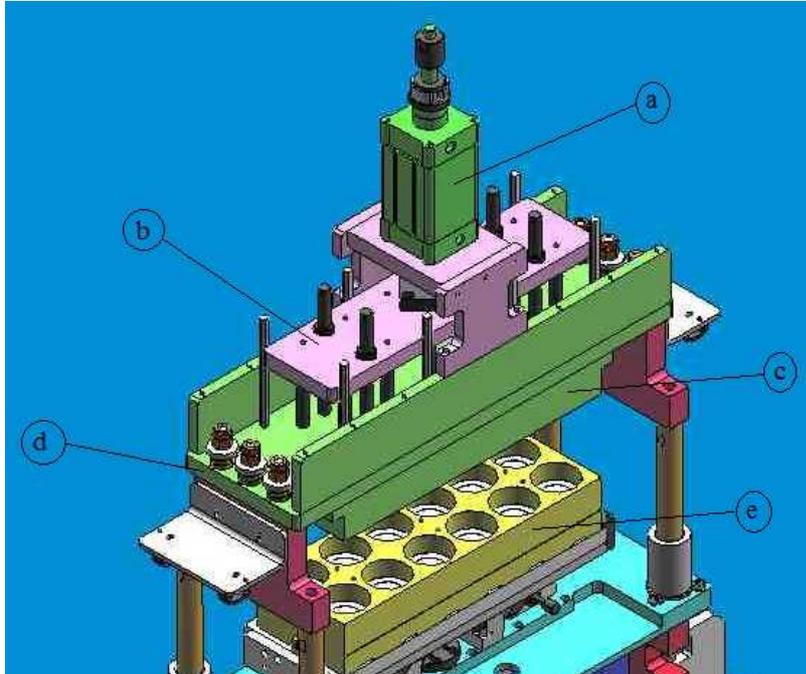


Fig. 6.10: Partes del sistema de pistonaje.

6.1.2.3.- Sistema de molde y termoformado.-

Este sistema es el encargado de dar forma al envase, mediante la geometría definida en el diseño del molde. El film precalentado, por las placas de precalentamiento, se desplazan hasta la posición del molde (b), el cual se desplaza verticalmente para realizar el cierre hermético entre el film y la campana de termoformado (c). Inmediatamente se inicia el ciclo de trabajo del sistema de pistonaje (d), el soplado en la campana y la inyección del vacío en el molde de termoformado (e) y después de definir el envase se produce la descrompesión (f) y el desmoldeo y liberación del envase (g). Una vez liberado el envase y sin ninguna alteración en su geometría (por efecto de la fricción del desmoldeo) los envases termoformados se desplazan hacia la siguiente estación (h) (Fig.6.11).

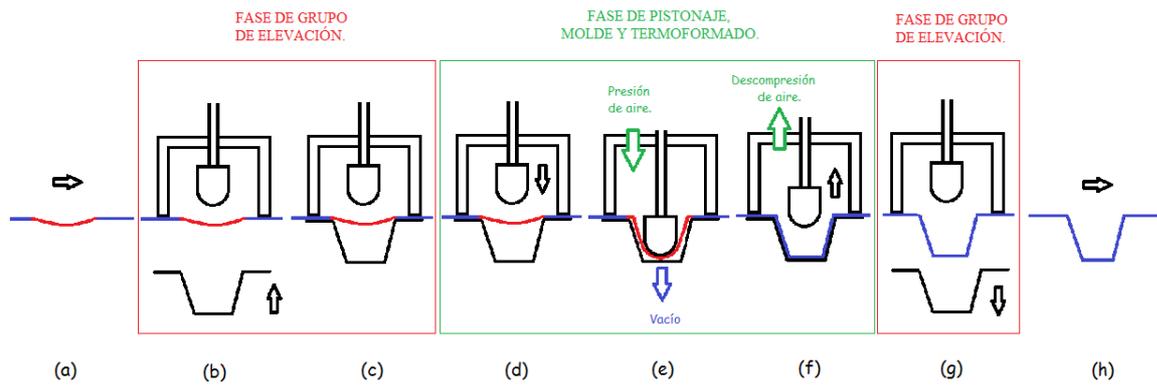
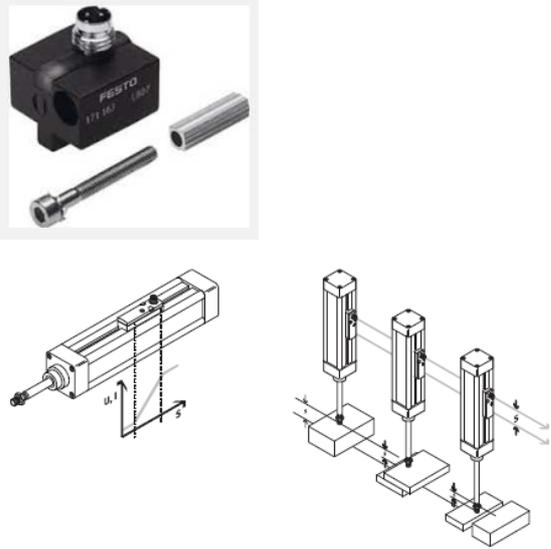
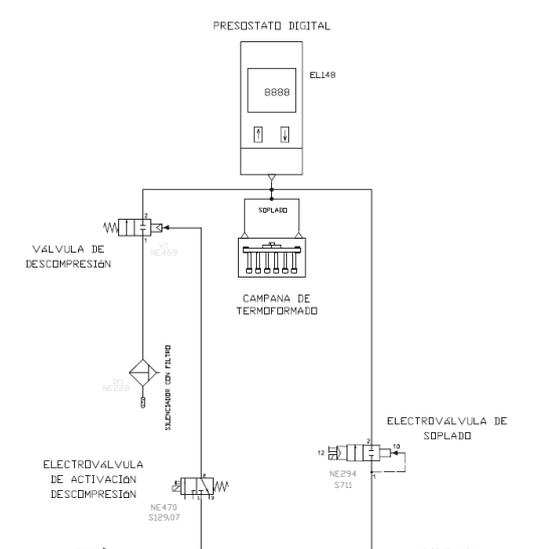
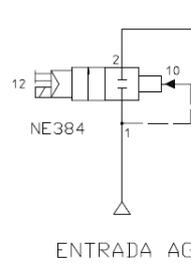
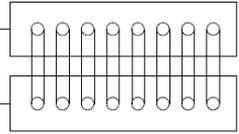


Fig. 6.11: Etapas de sistema de molde y termoformado.

Después de la descripción y el análisis del sistema de pistonaje y molde de la estación de termoformado, se plantean las propuestas de diseño para; lograr la tercera característica crítica y satisfacer las especificaciones secundarias identificadas por el método de diseño para esta estación de la máquina.

SISTEMA DE MOLDE, PISTONAJE Y TERMOFORMADO.
CARACTERÍSTICA CRÍTICA 3: Cierre y apertura de molde mediante desplazamiento radial.
PROPUESTA PARA DISEÑO
<p>En el diseño se planteará un sistema de desmoldeo mediante el giro del molde mientras inicia el desplazamiento vertical hacia abajo, sincronizado de tal manera que permita que la geometría especial del envase termoformado se "desenrosque" del molde. Para ello nos valdremos de un cilindro neumático giratorio de 270°, con sus correspondientes reguladores de caudal y presión para un control de sus variables de aceleración, desaceleración y velocidad de giro.</p>

ESPECIFICACIONES SECUNDARIAS:	
Control de variable de desplazamiento de pistón.	Hermeticidad de cierre.
PROPUESTA PARA DISEÑO	
<p>Se incorporará en el diseño, detectores inductivos para el control de desplazamiento vertical de cilindro neumático que gobierna a los pistones, así como reguladores de caudal y presión de aire, y la estabilización del circuito de alimentación de aire a la máquina.</p>	<p>En el diseño se ha contemplado la incorporación de un sensor de presión, el cual estará instalado en la campana de termoformado y activará una señal digital cuando la presión de aire requerida en el proceso de termoformado, baje la tolerancia mínima exigida para garantizar una correcta formación del envase.</p>
	
Control de temperatura de molde.	
PROPUESTA PARA DISEÑO	
Se incorporará un circuito de refrigeración de agua en la estación de termoformado, en el molde de termoformado.	
<p>ELECTROVÁLVULA APERTURA CIRCUITO REFRIGERACIÓN</p> 	<p>CIRCUITO REFRIGERACIÓN MOLDE DE TERMOFORMADO</p> 

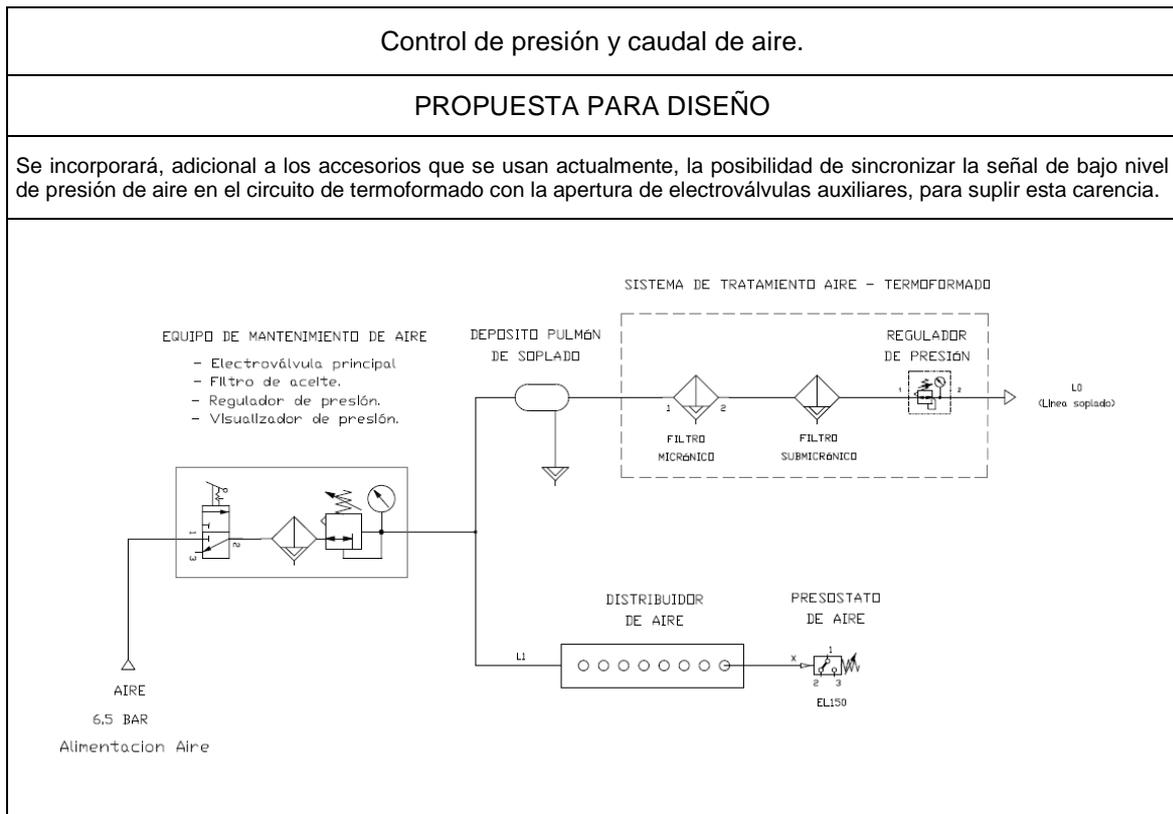


Fig. 6.12: Propuesta de diseño para la característica crítica 3 y especificaciones secundarias del sistema de pistonaje, molde y termoformado.

6.2.- Diseño de detalle.-

En éste apartado se procederá a realizar el diseño en detalle de cada una de las propuestas definidas en el diseño conceptual, ya sean para lograr las características críticas como de las especificaciones secundarias exigidas por el método de diseño, así como también las estaciones y equipos anexos que forman parte de la máquina prototipo.

6.2.1.- Característica crítica 1: Temperatura de precalentamiento controlada.-

Para tener un control adecuado de la temperatura en las placas de precalentamiento, el diseño conceptual nos realiza dos propuestas:

- **La incorporación de un segundo sensor de temperatura** para el censado e identificación de zonas “frías” en la placa de precalentamiento, en condiciones normales solo bastaría con un solo sensor por cada resistencia eléctrica. Para identificar las zonas frías en la placa, se procedió a tomar imágenes térmicas de la superficie de contacto con el film, en aquella zona donde la temperatura no era uniforme se incorporó el sensor de temperatura adicional. En la figura 6.13, se aprecia la imagen térmica de la placa de precalentamiento cuando inicia el calentamiento de la resistencia, se puede identificar una diferencia de temperatura de 2,8 °C entre la zona perimetral de la placa (color rosa) y la superficie que se encuentra cercana a la resistencia de calentamiento (color amarillo), la superficie en azul corresponde al entorno de la máquina. Las imágenes se obtuvieron con una cámara termográfica de la marca Flir modelo E60.

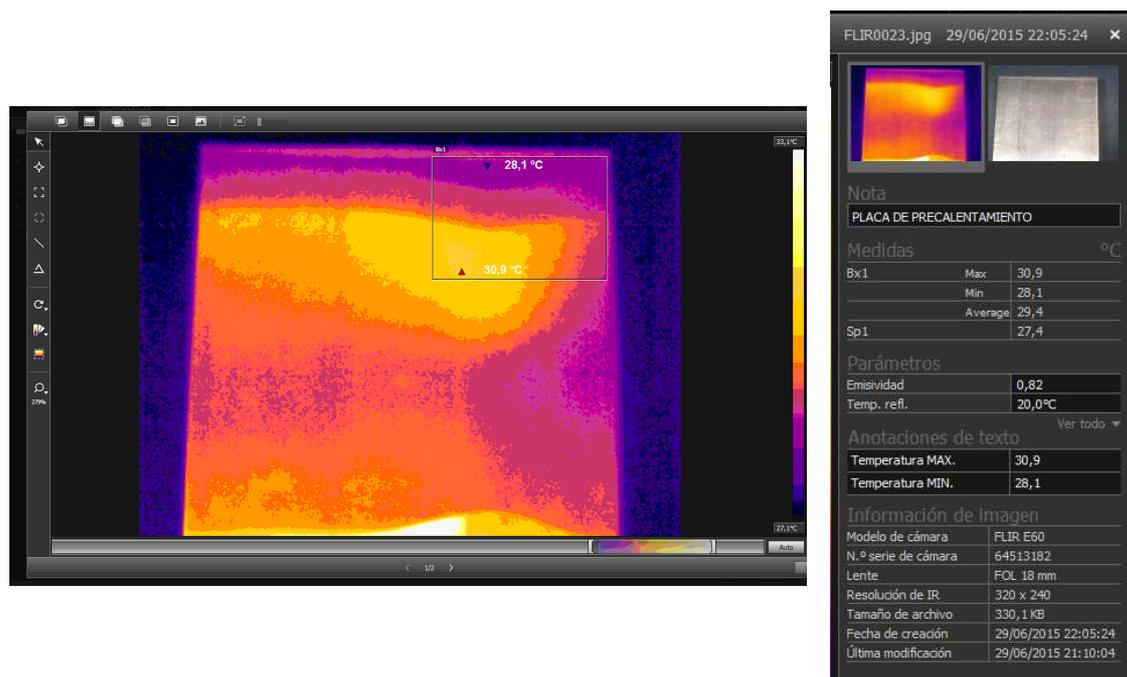


Fig. 6.13: Imagen térmica de placa de precalentamiento.

- **La incorporación de controladores de temperatura del tipo E5ZN**, los cuales proporcionan una mejor sensibilidad de respuesta debido a que su etapa de control se realimenta con la señal de salida. Estos tipos de controladores trabajan de forma modular intercomunicados entre sí y cuya configuración se

realiza mediante una consola de programación E5ZN-SDL o mediante un ordenador o pantalla interface utilizando un convertidor RS-232C/RS-485 (K3SC-10).

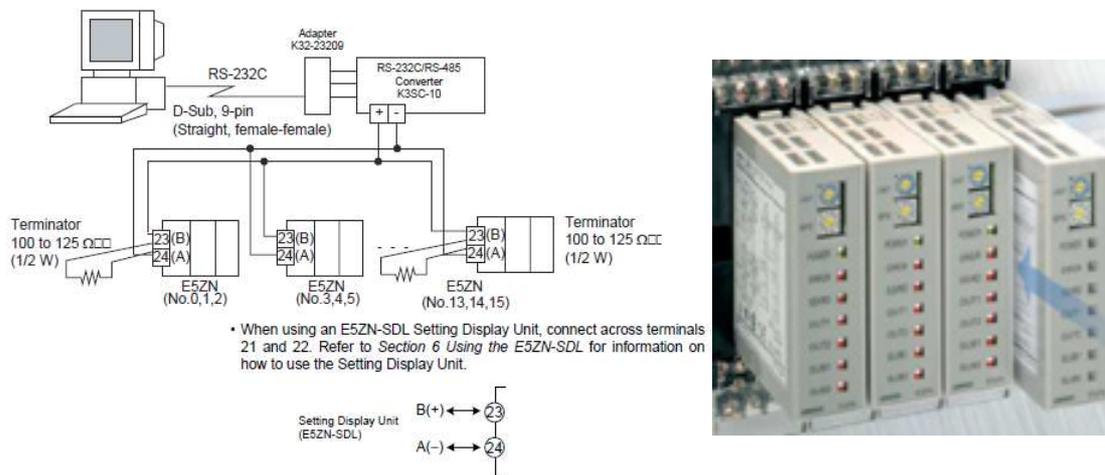


Fig. 6.14: Tipo modular de controlador de temperatura y sistema de comunicación.

6.2.1.1.- Especificaciones secundarias de la estación de precalentamiento.-

6.2.1.1.1.- Precalentamiento en dos secuencias.-

Mecánicamente se reduce el recorrido del cilindro neumático (Fig. 6.15 (1)) a 7,5mm, con lo cual la apertura final de las placas de precalentamiento sería de 15mm (Fig. 6.15 (3)). Cuando se realiza las secuencias de precalentamiento del film, en un tiempo determinado las placas están cerradas, ejerciendo una ligera presión en el film, con lo cual cumple su función de transferir temperatura. Cuando las placas están abiertas, se intenta liberar el film y permitir su desplazamiento hacia la estación de termoformado, en esta etapa, si la separación de las placas con el film es mínima se corre el riesgo de continuar aportando temperatura y sobre todo en zonas donde no la requiere (como en la zona de soldadura). Es por esto último que el reducir la distancia de separación de las placas de precalentamiento conlleva a un adecuado control de temperatura y distribución uniforme de la misma.

6.2.1.1.2.- Revestimiento de teflón.-

Las placas de precalentamiento (Fig. 6.15 (4)) se han diseñado de tal forma que la superficie de contacto con el film esté preparada para la adherencia del recubrimiento de teflón (Fig. 6.15 (2)). Las propiedades antiadherentes que tiene el teflón nos proporcionan una manipulación óptima del film precalentado, al momento de desplazarlo hacia la estación de termoformado.

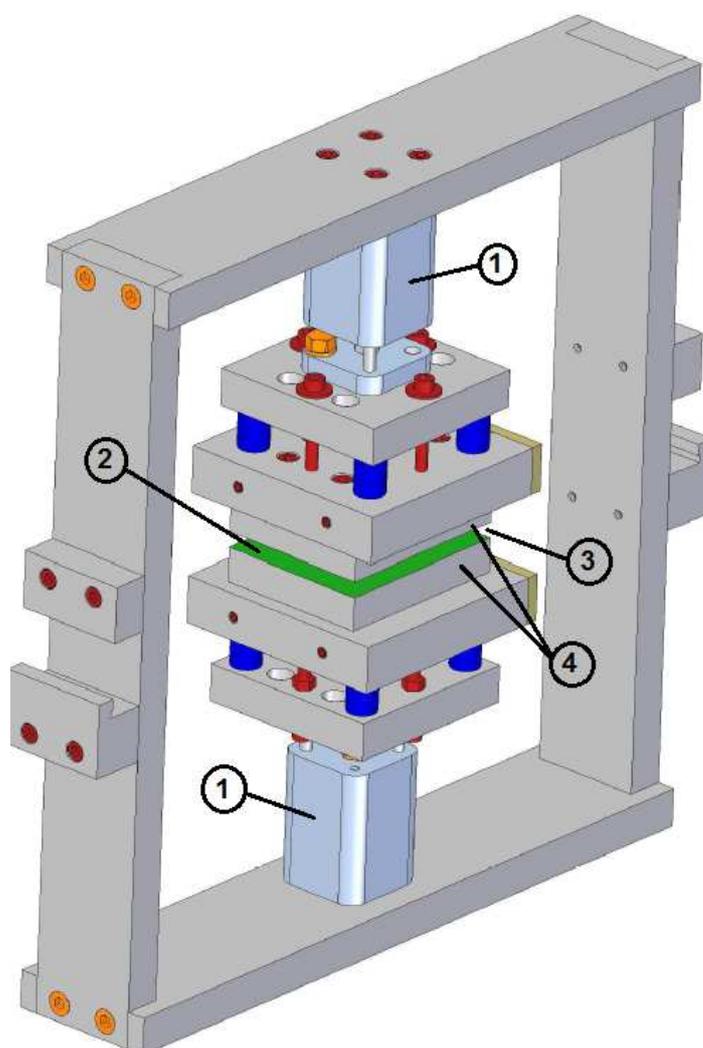


Fig. 6.15: Diseño de estación de precalentamiento: separación de placas y recubrimiento de teflón.

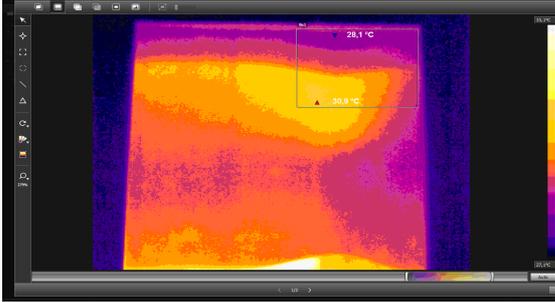
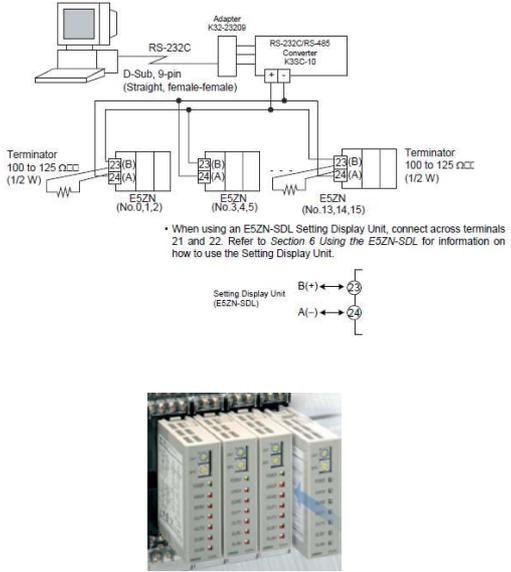
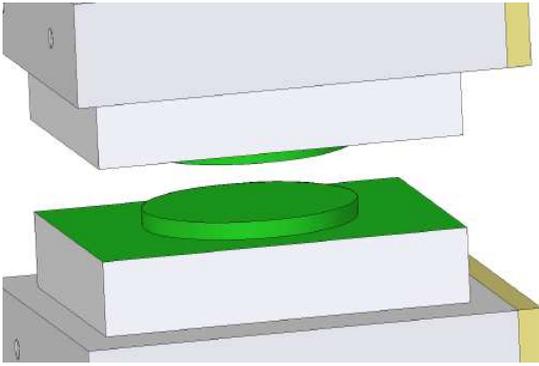
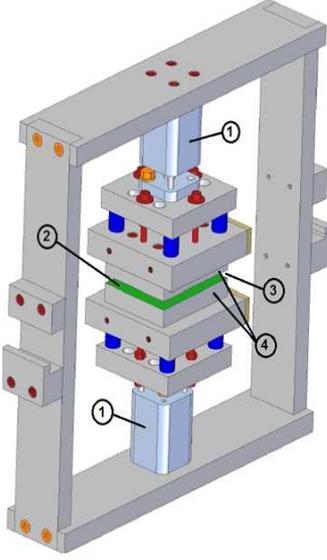
ESTACIÓN DE PRECALENTAMIENTO	
CARACTERÍSTICA CRÍTICA 1: Temperatura de precalentamiento controlada.	
DISEÑO	
Considerar dos sensores de temperatura por cada resistencia.	Utilización de controladores de temperatura tipo E5ZN.
	 <p>• When using an E5ZN-SDL Setting Display Unit, connect across terminals 21 and 22. Refer to Section 6 Using the E5ZN-SDL for information on how to use the Setting Display Unit.</p>
ESPECIFICACIONES SECUNDARIAS:	
Precalentamiento en dos secuencias.	Revestimiento de teflón.
DISEÑO	
	

Fig. 6.16: Diseño de estación de precalentamiento según las exigencias de la característica crítica 1 y especificaciones secundarias.

6.2.2.- Característica crítica 2: Control de variables de desplazamiento.-

Para el control de variables de desplazamiento en el grupo neumático de elevación, se ha incorporado en el diseño, reguladores de caudal y escapes rápidos, con los cuales, ante una presurización de una de las cámaras del cilindro, la respuesta mecánica de desplazamiento sería inmediata, ya que la evacuación del aire se realizaría por intermedio del escape rápido (Fig. 6.17 (a)). Todos los desplazamientos en la máquina prototipo se realizan mediante cilindros neumáticos, así como la secuencia de soplado en el proceso de termoformado. Todas estas demandas de aire generan caídas de presión, las cuales en muchos casos coinciden en movimientos o secuencias de máquina que dependen de la neumática y que cualquier caída de presión significan una pérdida de sincronismo y en consecuencia un probables fallo en máquina. Para ello se debe mantener una presión de aire estable en máquina, con lo cual se incorporará un tanque pulmón de 15lt. (Fig.6.17 (b))

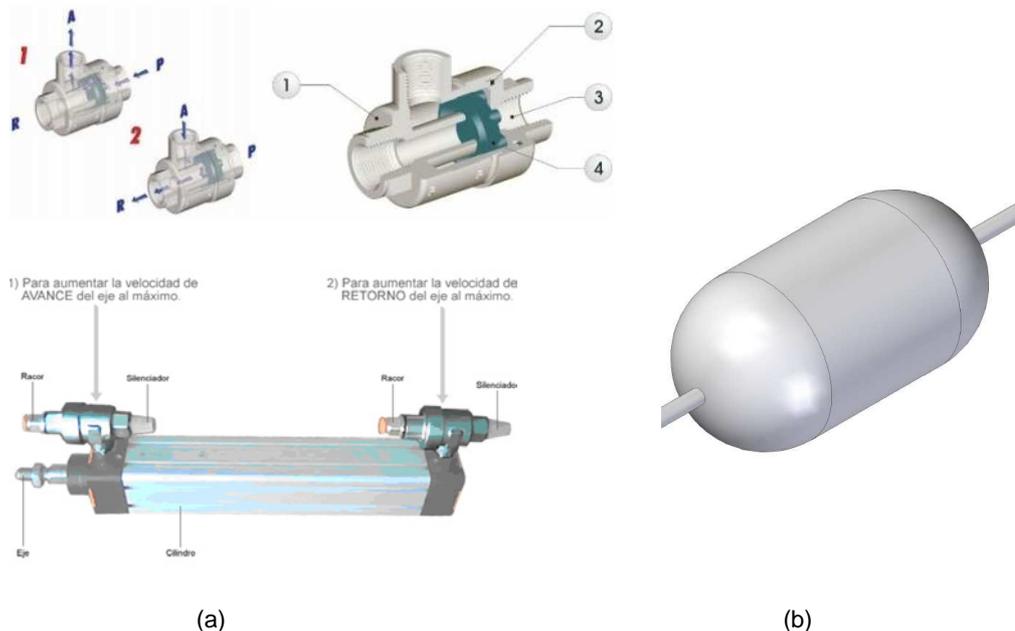


Fig. 6.17: (a) Control de desplazamiento neumático mediante reguladores de caudal y escapes rápidos. (b) Estabilización de presión de aire mediante tanque pulmón.

6.2.2.1.- Especificación secundaria del grupo de elevación.-

6.2.2.1.1.- Ajuste independiente de recorrido.-

El movimiento vertical del grupo de elevación debe estar sincronizado con los demás movimientos o secuencias de la estación de termoformado, es por ello que se incorpora al diseño unos detectores inductivos, con los cuales se obtendrán señales de posición del vástago del cilindro neumático (Fig. 6.19) y con ellas iniciar y sincronizar los movimientos de las posteriores etapas del termoformado.

En la figura 6.18, podemos apreciar las curvas de secuencia de inicio y final de cada una de las etapas de la estación de termoformado, sin entrar en detalle (ya que lo analizaremos en el apartado de puesta en marcha de la máquina), podemos identificar el momento en el cual el detector nos confirma la señal de grupo de elevación arriba y desencadena el inicio de las siguientes tareas como: actuación pistonaje, activación soplado y activación descompresión.

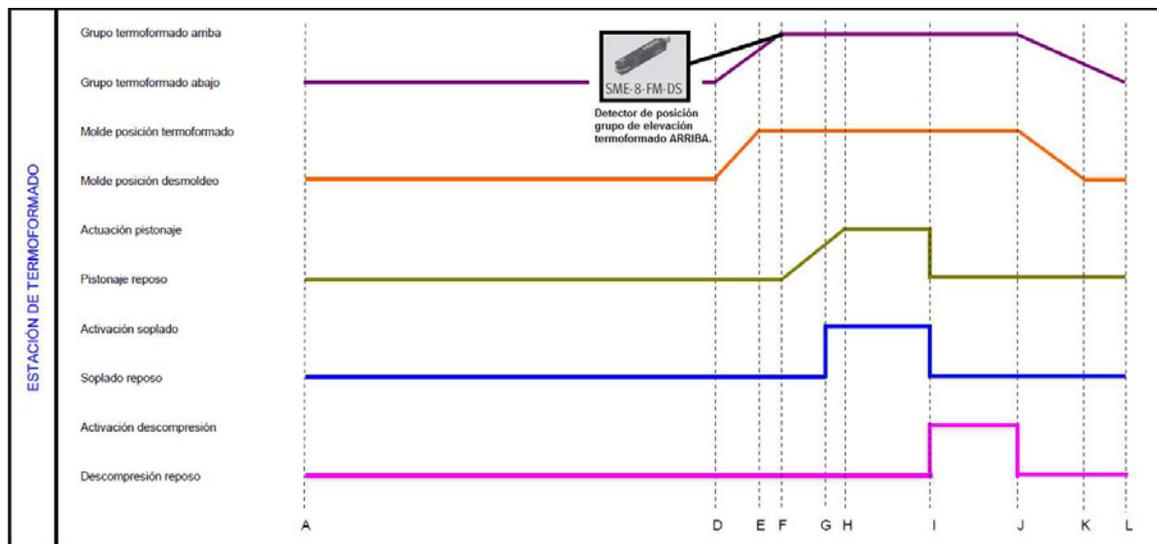


Fig. 6.18: Curvas de secuencia de inicio y final de estación de termoformado.

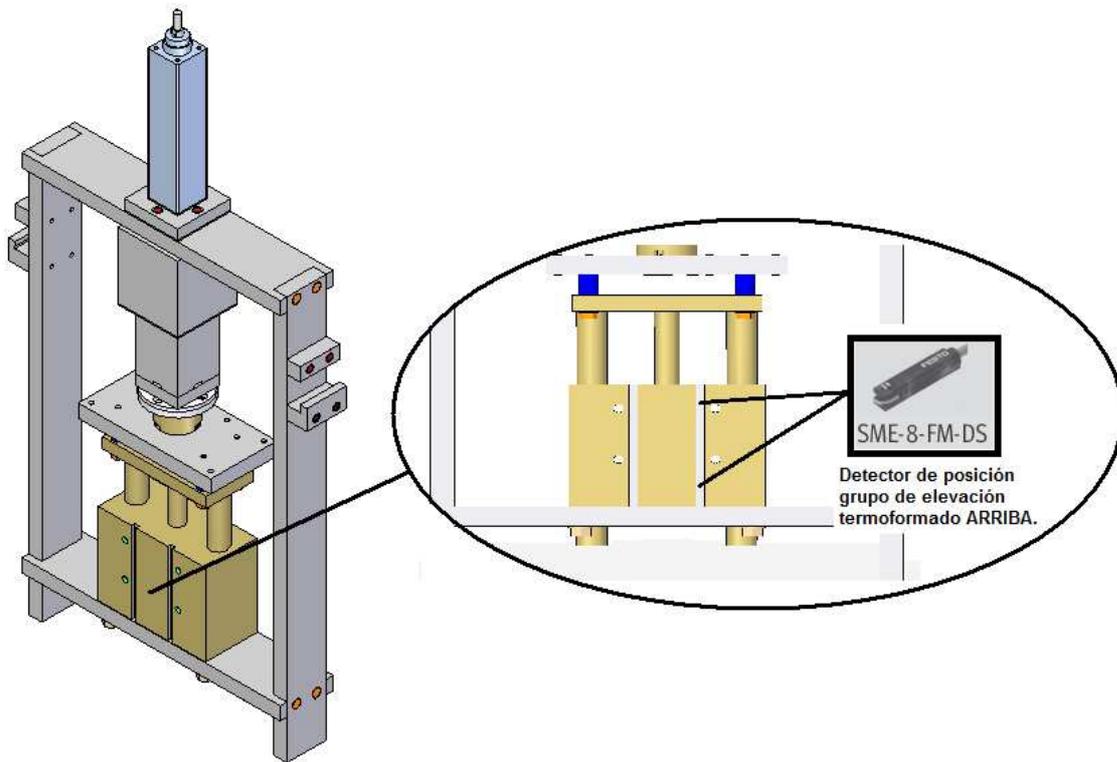


Fig. 6.19: Ubicación de detector de posición de estación de termoformado.

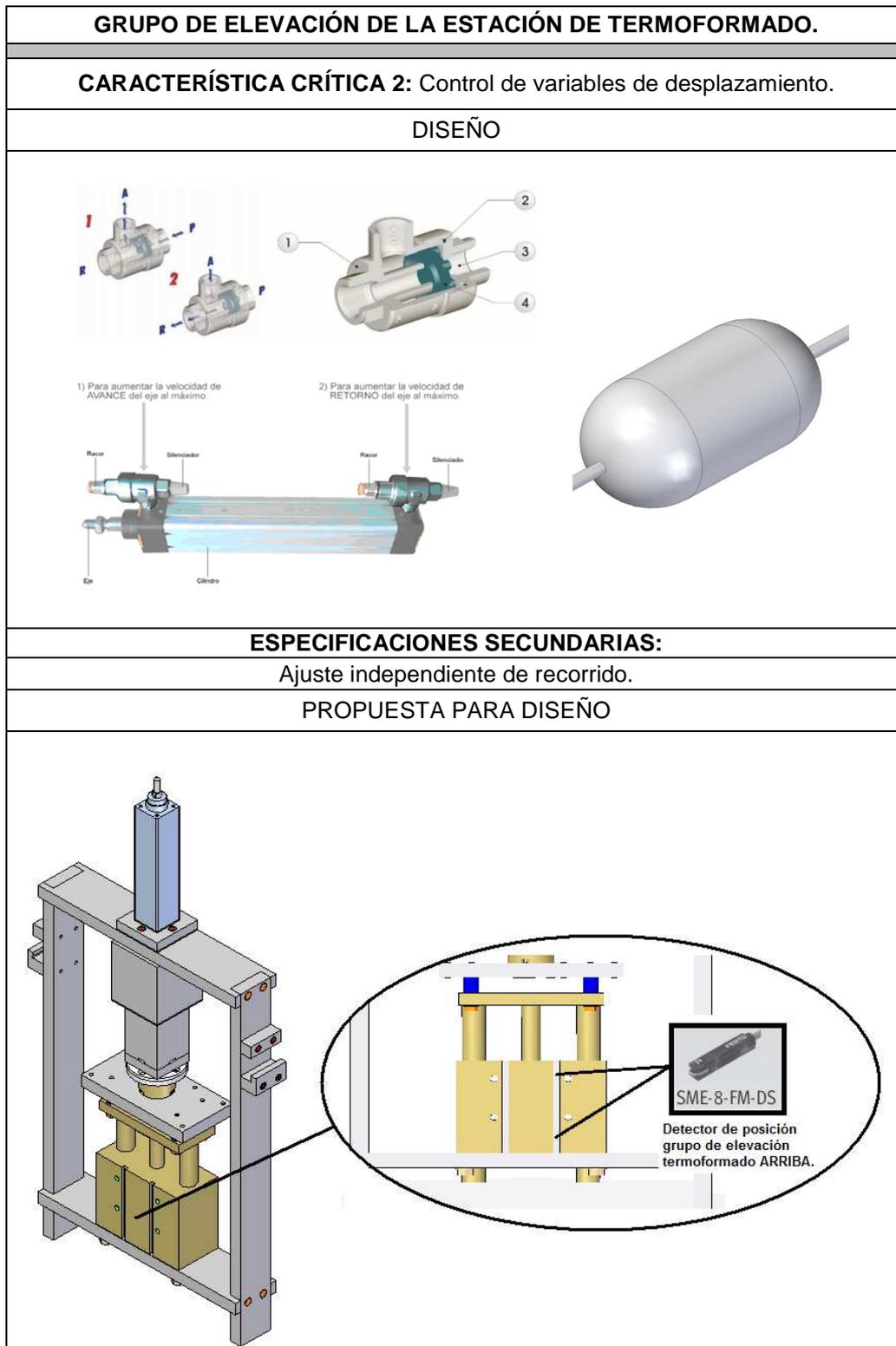


Fig. 6.20: Diseño de estación de termoformado según las exigencias de la característica crítica 2 y especificaciones secundarias.

6.2.3.- Característica crítica 3: Cierre y apertura de molde mediante desplazamiento angular.-

Para poder satisfacer ésta característica crítica se ha diseñado el sistema de termoformado mediante el sistema de giro de molde, para ello nos hemos valido de un cilindro rotativo (CRB2BW30-270S de la marca SMC) (Fig. 6.21), el cual se encargará de realizar un movimiento radial del molde, de forma sincronizada con el desplazamiento vertical del grupo de elevación, de tal manera que una vez termoformado el envase, se pueda desmoldear mediante un único giro de 270° , en sentido horario.

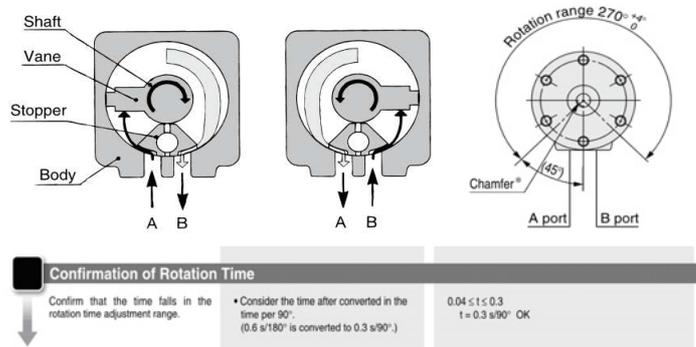


Fig. 6.21: Detalles técnicos de cilindro neumático rotatorio.

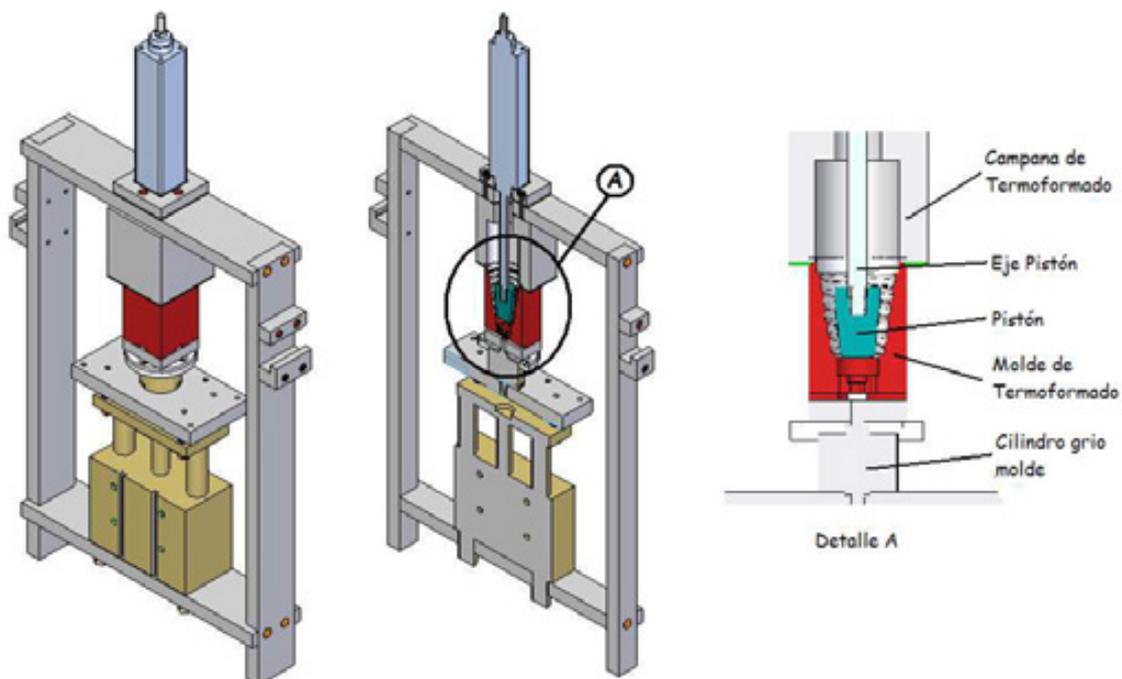


Fig. 6.22: Vista en detalle del sistema de termoformado mediante giro de molde.

En la figura 6.22, apreciamos un avista en detalle del sistema de giro de molde en la estación de termoformado.

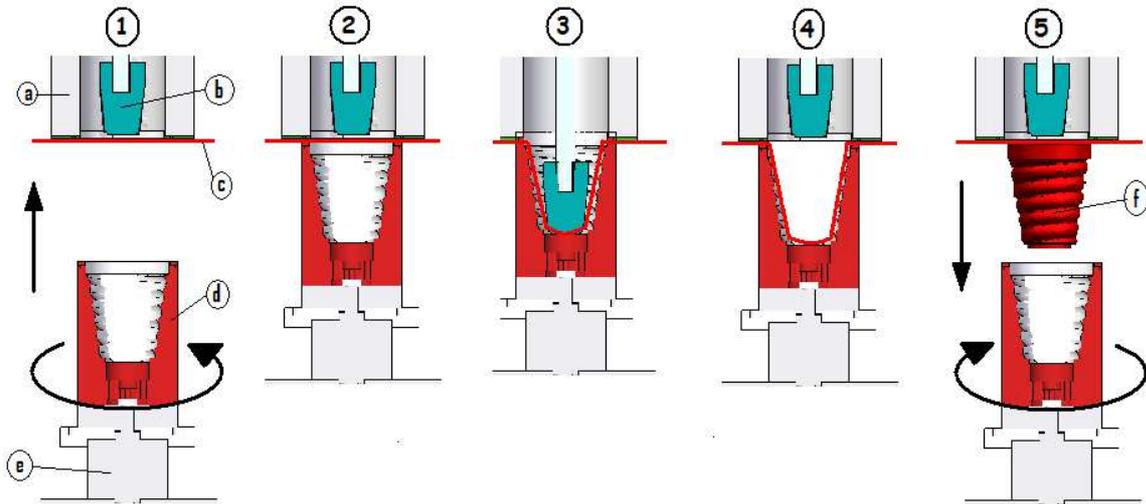


Fig. 6.23: Termoformado mediante giro de molde.

El proceso de termoformado por giro de molde se realiza de la siguiente manera:

(1) El film precalentado (c) se posiciona por debajo de la campana de termoformado (a), e inmediatamente sube el grupo de elevación, desplazando el molde (d) y el cilindro neumático rotatorio (d), quien paralelamente realiza el giro en sentido antihorario hasta posicionarse y ejercer la presión de cierre (molde / campana) suficiente para la formación del film (2). En el estado (3), se inicia el desplazamiento hacia abajo del pistón (b), con el cual desplazamos mecánicamente el film hasta la posición en la cual se inician los procesos de soplado y descompresión (4), retornando el pistón a su posición de reposo y permitiendo la definición y uniformidad de la pared del envase hasta obtener el envase termoformado (f). Posteriormente se inicia el desmoldeo del envase (5), para el cual se inicia con el giro de molde en sentido horario, sincronizado con el desplazamiento vertical hacia debajo del grupo de elevación, hasta llegar a su posición de reposo.

6.2.3.1.- Especificaciones secundarias del grupo de pistonaje, molde y termoformado.-

6.2.3.1.1.- Control de variable de desplazamiento de pistón.-

El movimiento vertical del cilindro neumático de la estación de pistonaje debe estar sincronizado con los demás movimientos o secuencias de la estación de termoformado, es por ello que se incorpora al diseño unos detectores inductivos, con los cuales se pueden obtener señales de posición del vástago del cilindro neumático y sincronizar los movimientos con las demás señales de la estación.

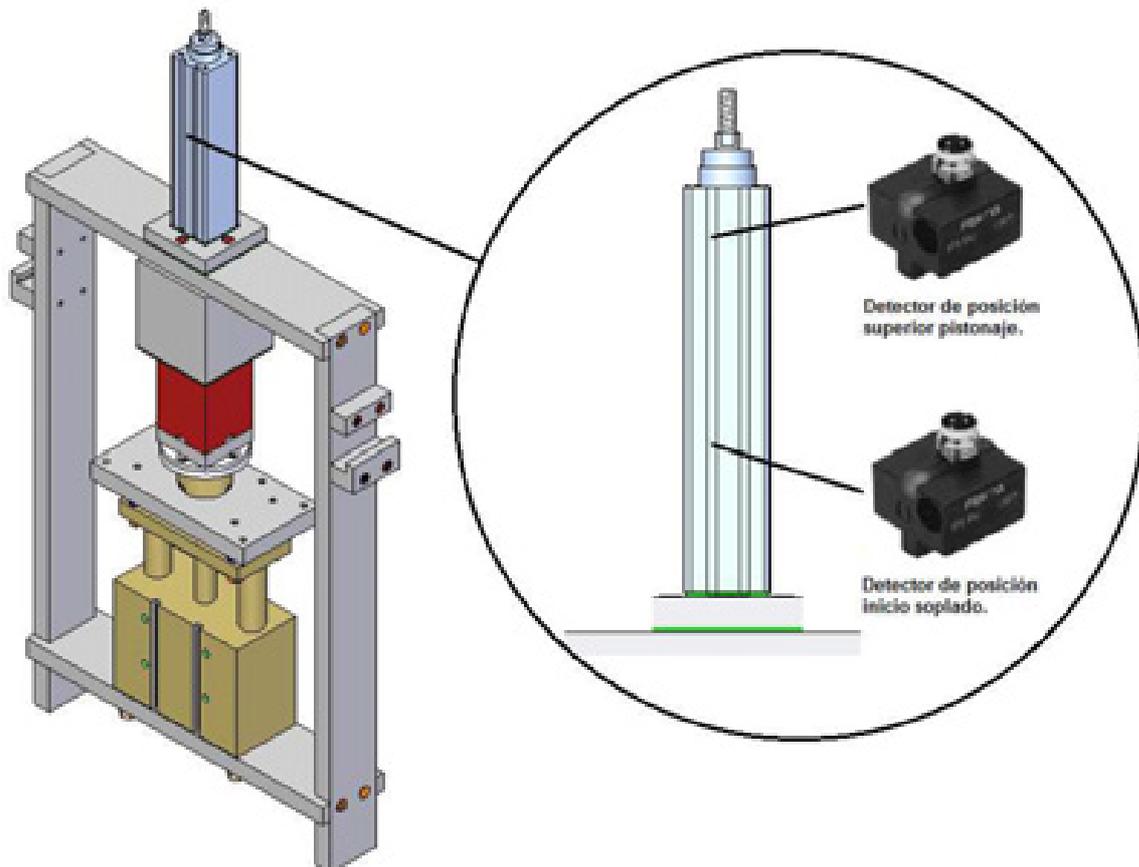


Fig. 6.24: Incorporación de detectores inductivos de posición en el cilindro neumático de la estación de pistonaje.

6.2.3.1.2.- Hermeticidad de cierre.-

La hermeticidad en el cierre entre el molde y la campana de termoformado, es esencial para garantizar un correcto termoformado. El caudal de aire que debe utilizarse en la etapa de soplado del envase garantiza una definición del envase y una distribución uniforme del film en el molde, cualquier pérdida de aire en esta etapa de termoformado significa reducir la calidad del envase y reducir la eficiencia de máquina. Por tal motivo, se ha contemplado en el diseño de máquina el uso de un sensor de presión digital (SDE1 de Festo), el cual proporcionará una señal digital cuando la presión de aire, en el interior de la campana, está por debajo de los valores establecidos (Fig. 6.25).

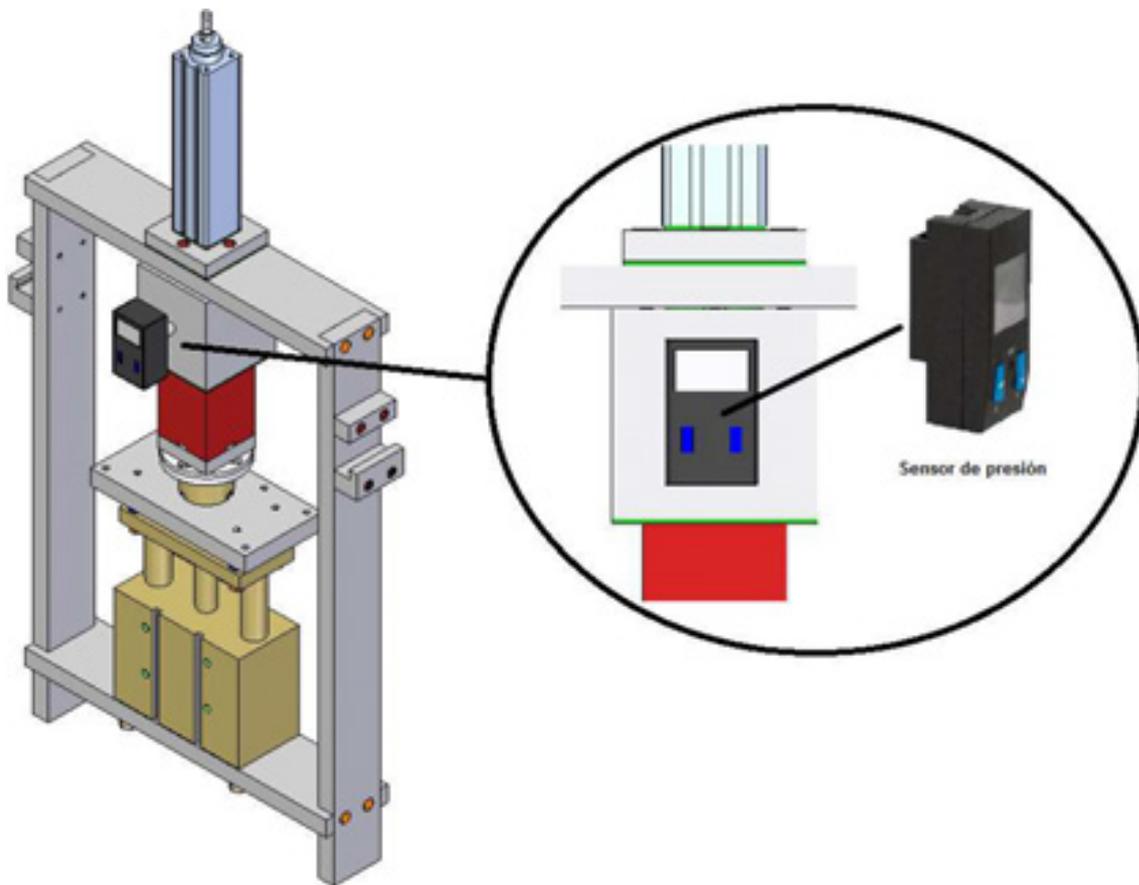


Fig. 6.25: Incorporación de sensor de presión en la campana de termoformado para confirmar la correcta presión de aire en el proceso de termoformado.

6.2.3.1.3.- Control de temperatura de molde.-

En la estación de precalentamiento se transfiere calor al film y éste, a su vez, lo transfiere, indeseablemente, al molde en la estación de termoformado. Una de las funciones principales del molde, después de termoformar el envase, es el garantizar su estabilidad geométrica, para ello debe mantenerse a una temperatura entre los 5 a 10° con la finalidad de enfriar las paredes del envase desde el mismo instante en que estas tocan con la superficie interior del molde. Para tal fin, se diseña un circuito de refrigeración de agua en el interior del molde, en el cual fluye de forma constante un caudal de agua fría.

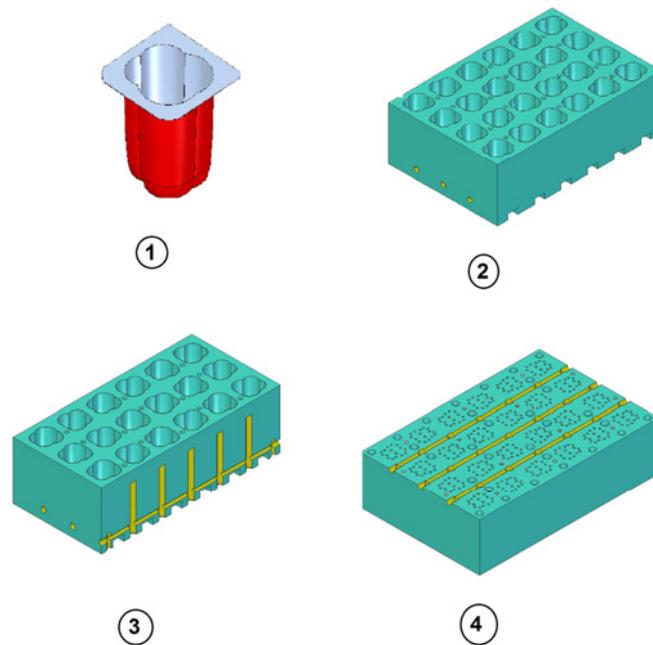


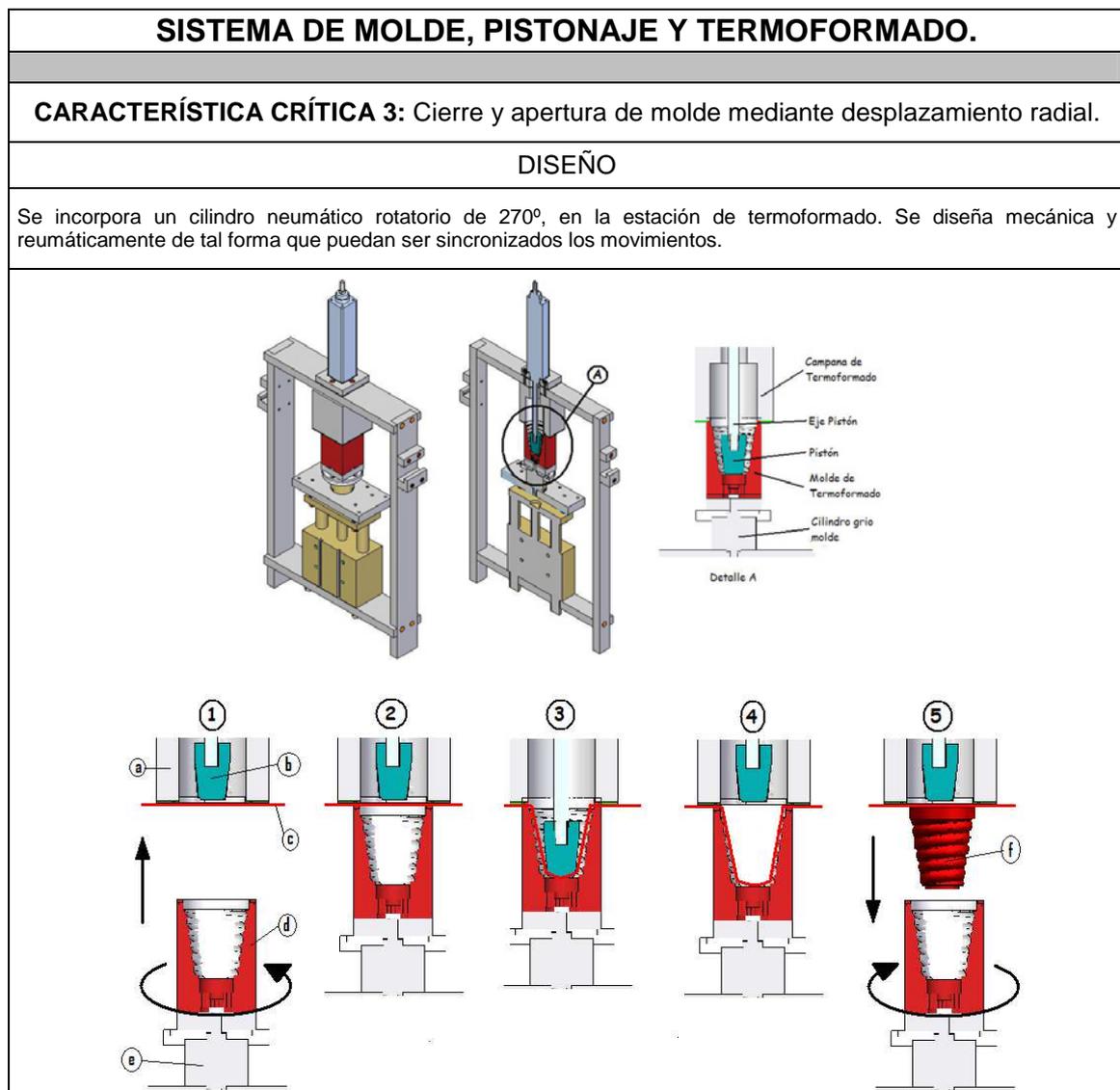
Fig. 6.26: Circuito de refrigeración por agua de molde de termoformado.

El recorrido del circuito de refrigeración (Fig. 6.26) es diseñado partiendo de la geometría del envase (1) y de cuantas cavidades se desea que tenga el molde (2). En este ejemplo, se ha definido 3 ductos de refrigeración (identificados por el color amarillo) ubicados en la parte inferior, los cuales se prolongan longitudinalmente al molde (4), cada uno de estos ductos tiene equidistantemente 5 ductos verticales (3) en los cuales se introducen unos accesorios llamados fuentes de refrigeración, los cuales fuerzan el flujo de agua de forma ascendente/descendente en cada uno de estos ductos.

En nuestro caso, se ha contemplado en el diseño la incorporación del circuito de refrigeración para máquinas de uso industrial, con moldes de varias cavidades. Al ser nuestra máquina un prototipo a escala de laboratorio (con molde de una sola cavidad), no se ha considerado incluirlo su diseño y fabricación.

6.2.3.1.4.- Control de presión y caudal de aire.-

Este tipo de sistemas son válidos para máquinas de uso industrial, cuyas demandas pico de aire sobrepasan la capacidad instalada. En nuestro caso al ser una máquina prototipo de laboratorio, no es necesario incorporarlo en el diseño ni en la fabricación.



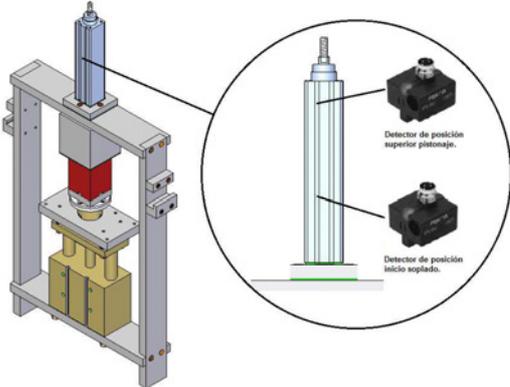
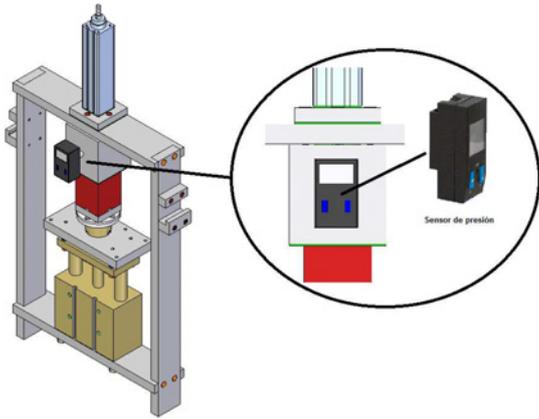
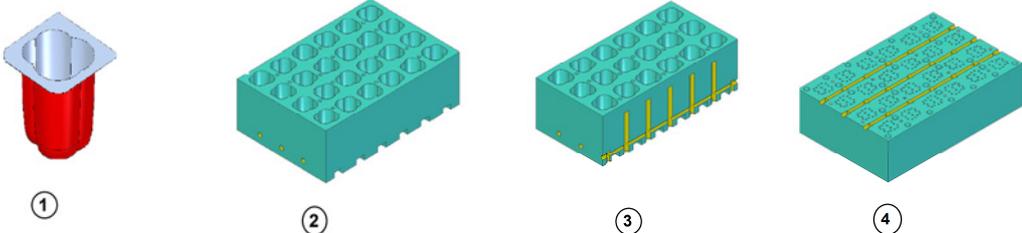
ESPECIFICACIONES SECUNDARIAS:	
Control de variable de desplazamiento de pistón.	Hermeticidad de cierre.
DISEÑO	
Se ha contemplado en el diseño el uso de detectores inductivos para el control de desplazamiento vertical de cilindro neumático que gobierna a los pistones.	Se ha contemplado en el diseño la incorporación de presostato digital, el cual estará instalado en la campana de termoformado y activará una señal digital cuando la presión de aire requerida en el proceso de termoformado, baje la tolerancia mínima exigida.
	
Control de temperatura de molde.	
DISEÑO	
Se incorporado en el diseño de la estación de termoformado un circuito de refrigeración de agua en el molde.	
	

Fig. 6.27: Diseño de estación de molde, pistonaje y termoformado según las exigencias de la característica crítica 3 y especificaciones secundarias.

6.2.4.- Diseño de máquina prototipo, estaciones y equipos anexos.-

6.2.4.1.- Bastidor de máquina.-

Por ser una máquina prototipo de laboratorio, se ha diseñado el bastidor de tal manera que sea versátil y funcional ante las variaciones e incorporaciones de las estaciones de máquina.

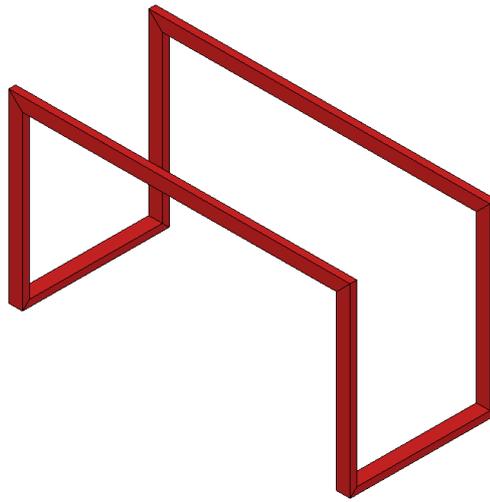


Fig. 6.28: Bastidor de máquina.

6.2.4.2.- Estación de tracción de material.-

La estación de tracción de máquina (Fig. 6.29) está formado por (1) Travesaños de fijación a bastidor, (2) Guías de film, (3) Soporte y fijación cilindro y freno de film, (4) cilindro neumático, (5) Sistema de guiado de cilindro neumático, (6) soporte de freno de film y (7) Freno de film. La activación neumática del freno retiene el film para que la posterior activación del cilindro neumático lo desplace hasta posicionarla sobre la estación de precalentamiento.

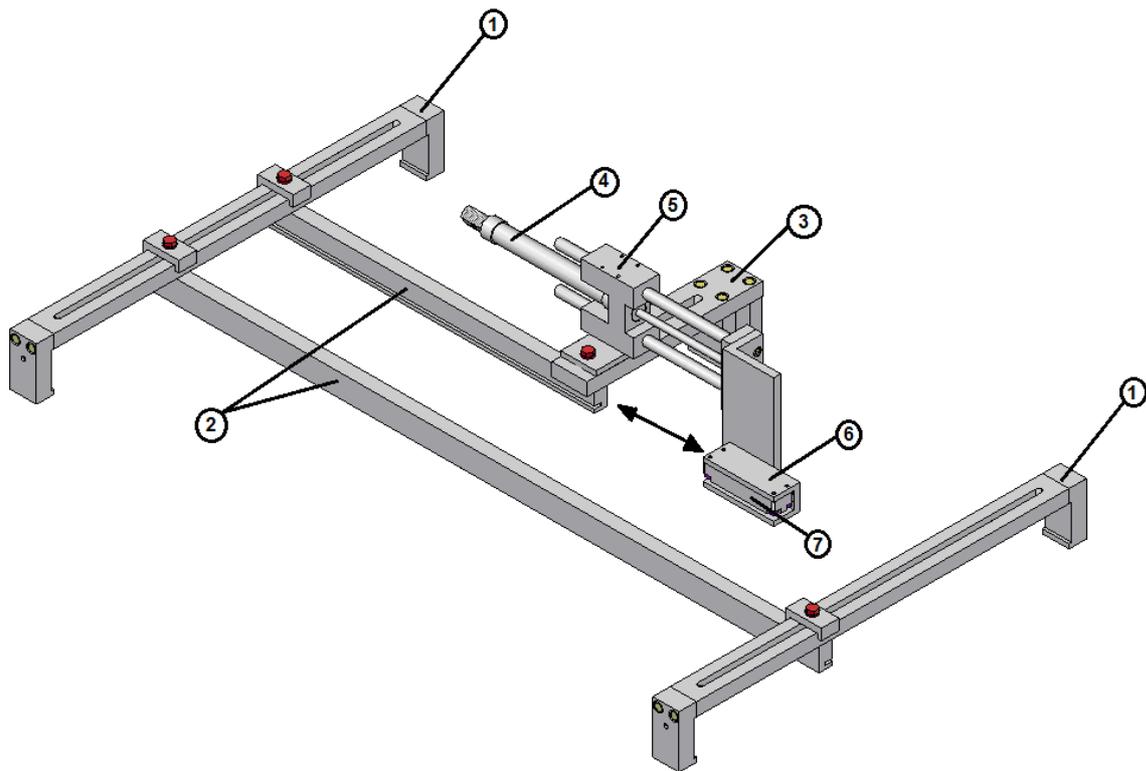


Fig. 6.29: Estación de tracción de film.

6.2.4.3.- Diseño eléctrico.-

El diseño eléctrico de la máquina se ha realizado según las directivas:

- UNE-EN 292-1: Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 1: Terminología básica, metodología.
- UNE-EN 60204-1: Seguridad en las máquinas. Equipo eléctrico en las máquinas de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 418: Seguridad de las máquinas. Sistema de parada de emergencia, aspectos funcionales. Principios para el diseño.

Las características eléctricas principales de máquina son:

Conexiones Eléctricas	
Tensión de alimentación	220 VCA, 50Hz
Ubicación de la conexión	Cuadro eléctrico principal.
Potencia recomendada instalación	5 KVA
Potencia nominal máquina	3,5 KVA

6.2.4.4.- Diseño neumático.-

El diseño neumático de la máquina se ha realizado según las directivas:

- UNE-EN 983: Relativa a sistemas y componentes neumáticos.

Las características neumáticas principales de máquina son:

Conexión Neumática	
Presión neumática nominal de la máquina	6,5 bar.
Mínima presión de trabajo	6 bar
Presión recomendada del compresor	8 bares
Ubicación de la conexión	Válvula situada a la entrada de la máquina
Diámetro de la entrada	3/4"
Consumo nominal de aire	14 m ³ / hr

6.2.4.5.- Diseño de automatismo.-

Con la finalidad de tener un control absoluto de los parámetros de máquina como temperaturas, tiempos y secuencias de activación en las estaciones, se ha contemplado en el diseño de máquina la utilización de:

- Automata de la marca Omron, modelo Sysmac CJ1M compuesto por:
 - o CPU 12-ETN.
 - o Dos tarjetas de entrada modelo ID-211, cada una de 16 entradas digitales.
 - o Una tarjeta de salida modelo OC-211, de 16 salidas digitales.
- Pantalla táctil de la marca Omron, modelo NS-10.
- Dos controladores de temperatura de la marca Omron modelo E5ZN.
- Un módulo de programación para controlador de temperatura, marca Omron modelo E5ZN-SDL.

Para la programación del autómata y la pantalla se ha utilizado el software matriz CX-One y el módulo CX-Programmer V 9.2 (Fig. 6.30) para el programa de la pantalla y el CX-Designer V3.2 (Fig. 6.31), se puede observar la pantalla principal (a) con la cual se

accedería al resto de pantallas. Mediante la pantalla (b) se puede operar la máquina de forma automática o manual, por medio de los botones y selectores virtuales. Para el control de los parámetros de tiempo se cuenta con las pantallas de: “tiempos internos precalentamiento” (c) con la cual se puede ajustar parámetros como; ciclo de precalentamiento, tiempo de precalentamiento cerrado, tiempo de precalentamiento abierto y el retardo envase libre precalentamiento. “Tiempos internos termoformado” (d) con el cual se puede ajustar parámetros como; retardo inicio soplado, tiempo pistonaje abajo, tiempo de soplado, tiempo de descompresión y espera inicio grupo termoformado. También cuenta con dos botones a modo de selector para definir el tipo de soplado, por sensor o por tiempo. En la pantalla (e) se puede seleccionar el tipo de envase a termoformar, en función a la selección, cambian parámetros pre-configurados tiempos de precalentamiento y tiempo pistonaje abajo.

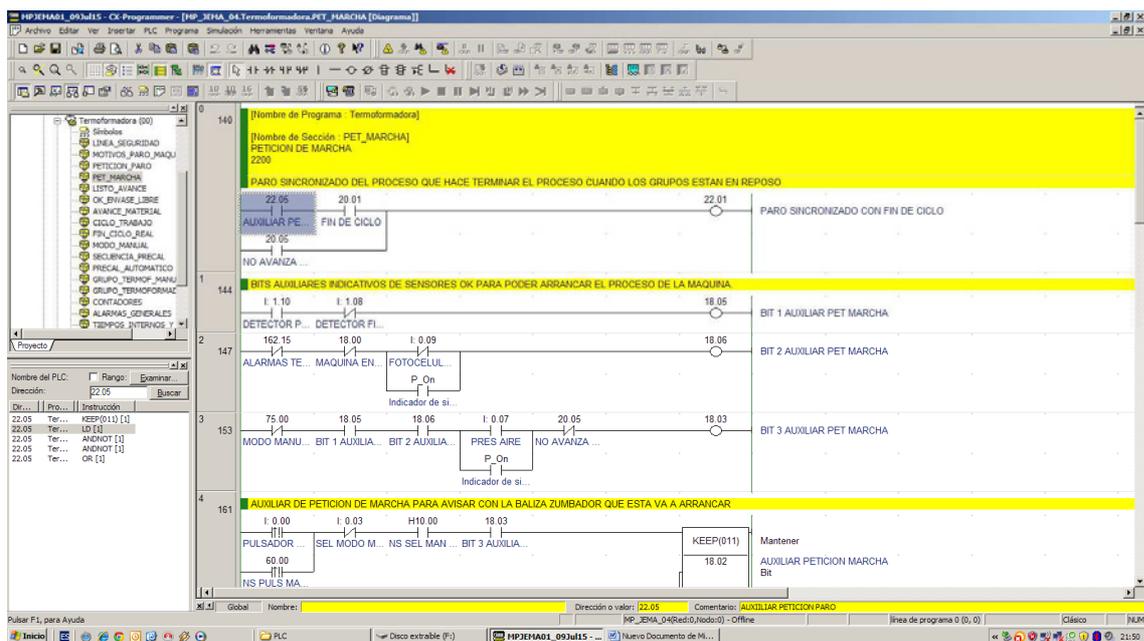


Fig. 6.30: Programa de autómeta.

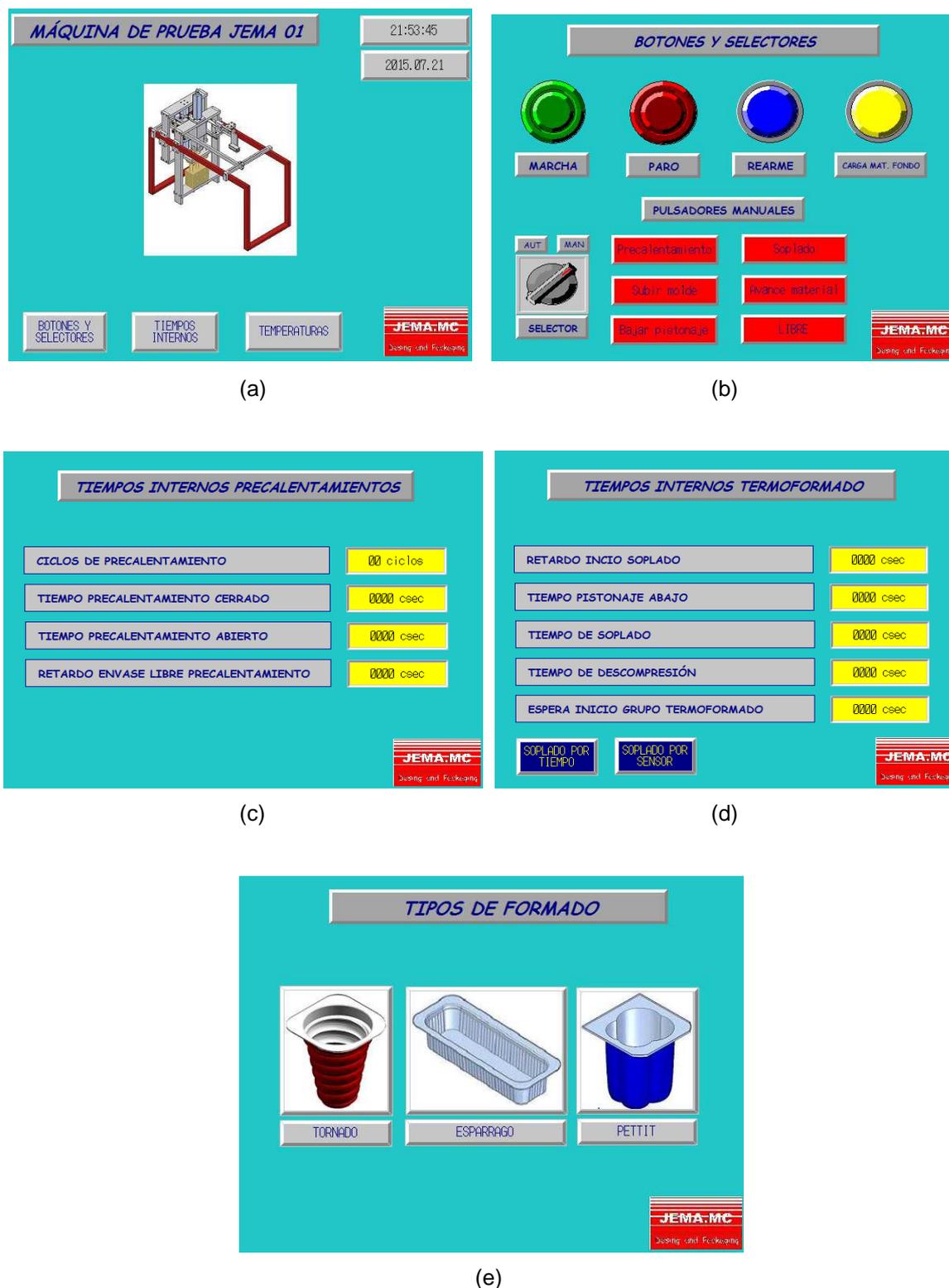
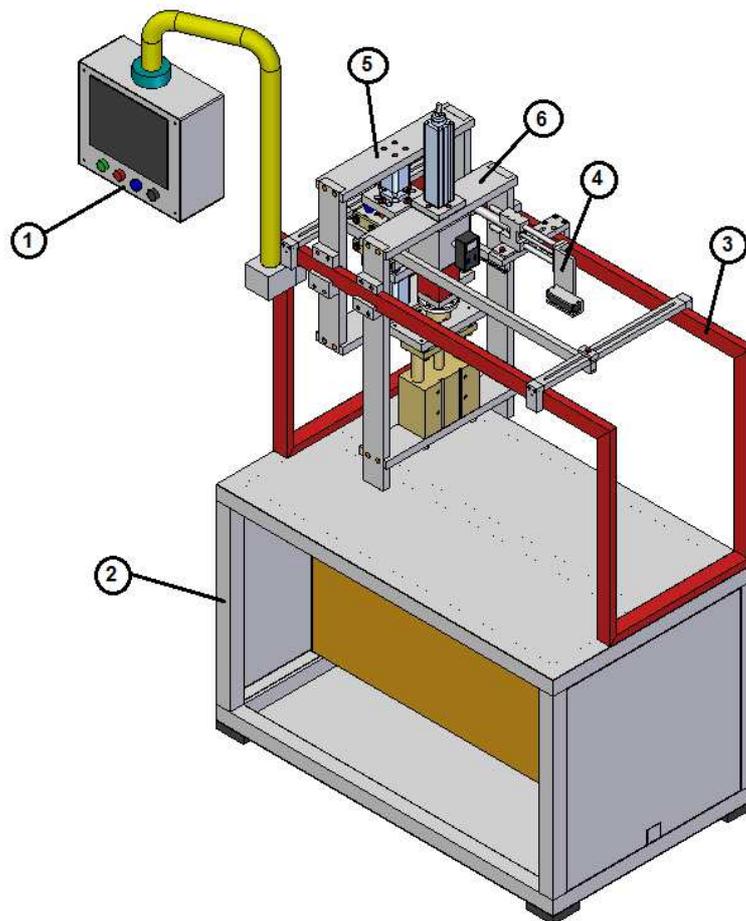


Fig. 6.31: (a) Pantalla principal. (b) Pantalla de botones y selectores. (c) Pantalla de tiempos internos de precalentamiento. (d) Pantalla de tiempos internos termoformado. (e) Pantalla de tipos de formado.

6.2.4.6.- Diseño de máquina.-

El conjunto de la máquina prototipo se ha diseñado contemplando la posibilidad de futuras adaptaciones y modificaciones, el bastidor (3) está dispuesto de tal forma que permite un fácil montaje de las estaciones de tracción de film (4), precalentamiento (5) y termoformado (6), todas ellas operadas desde la pantalla y los pulsadores (1). El cuadro eléctrico y neumático de la máquina (2) está dispuesto en la parte inferior de la misma, cumpliendo también la función de soporte de máquina.

Según las normativas de fabricación de máquina, especifican que para aquellas máquinas de uso alimentario, es imprescindible el uso determinados materiales de fabricación, como: el acero inoxidable, en sus distintas calidades según el contacto que tiene con el alimento. El aluminio, cuando su aplicación sea solamente de uso estructural y no tenga contacto directo con el alimento.



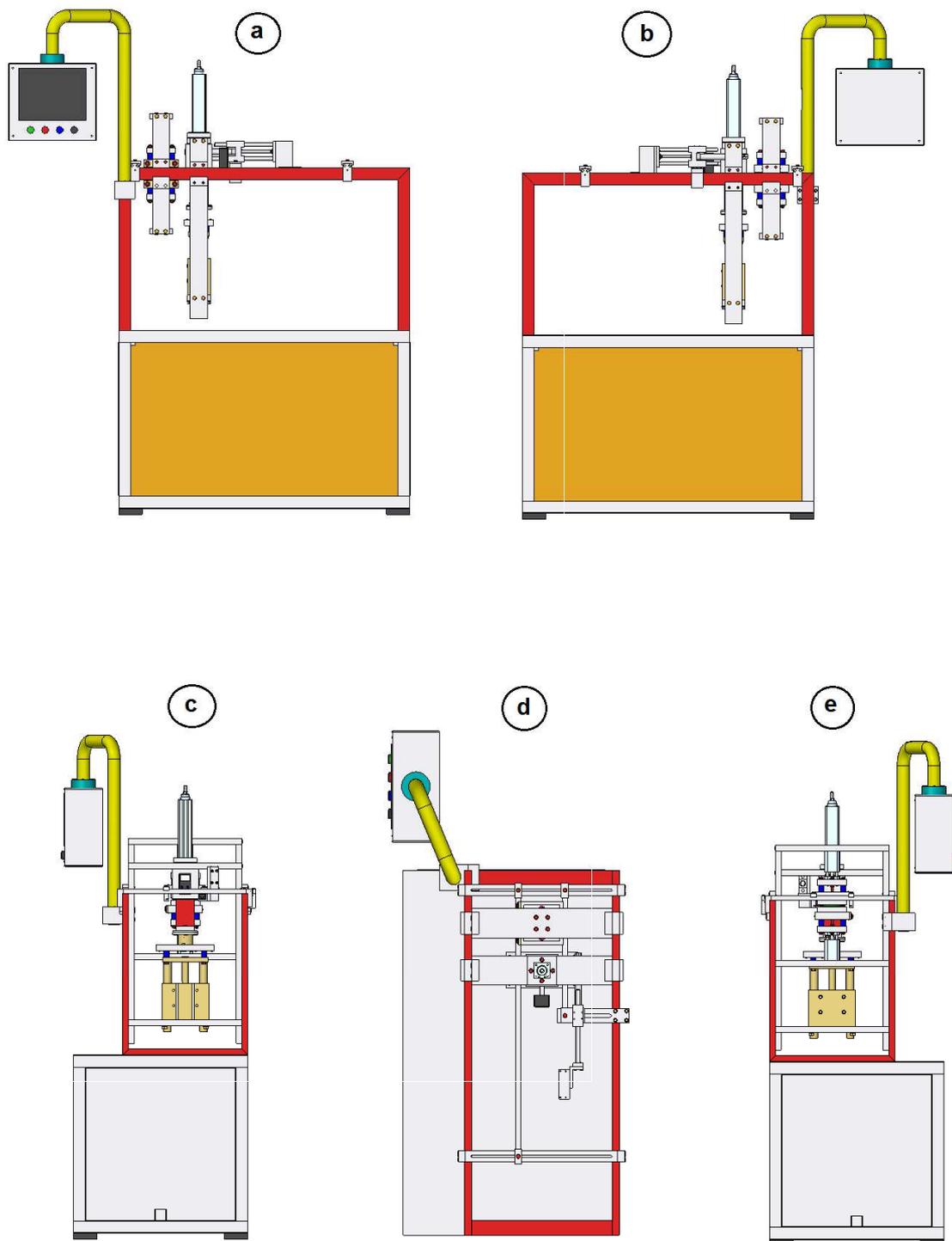


Fig. 6.32: Máquina prototipo de termoformado.

6.3.- Construcción de prototipo.-

Con la documentación generada en la ingeniería del detalle, desarrollada a partir de los resultados preliminares, se construyó el prototipo con todos los requerimientos especificados y la capacidad de producción indicada. La construcción se realizó en las instalaciones de la empresa JEMA.MC en Logroño.

6.3.1.- Construcción del bastidor de máquina.-

El bastidor de máquina, fabricado en perfil de acero inoxidable 304, está dispuesto de tal forma que permite un desplazamiento horizontal de las estaciones de máquina.

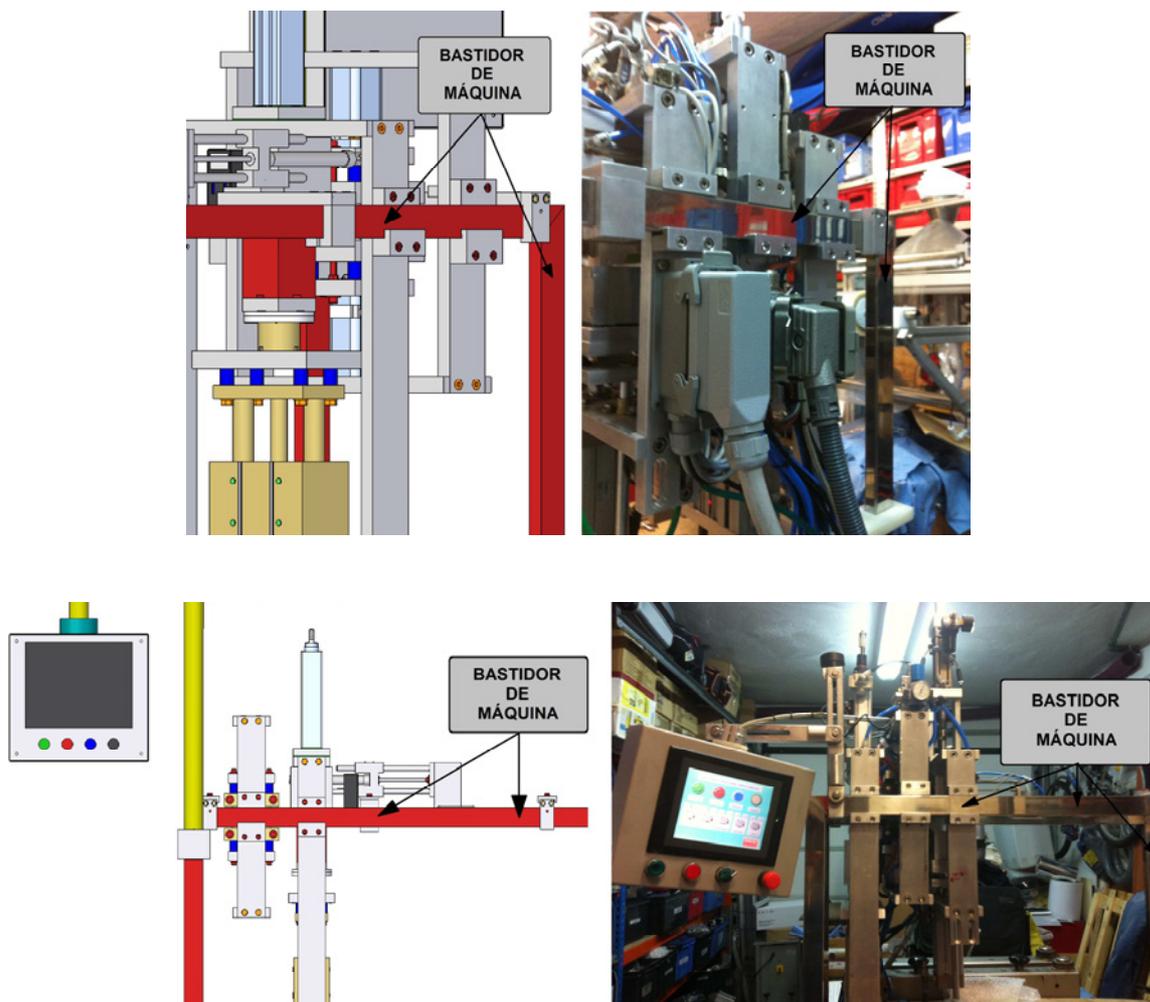


Fig. 6.33: Bastidor de máquina.

6.3.2.- Construcción de la estación de tracción de film.-

En las siguientes imágenes se aprecian como está integrado el sistema de tracción de film en la máquina, también se aprecia la secuencia de tracción del film y retorno del freno neumático para iniciar otro ciclo de tracción.

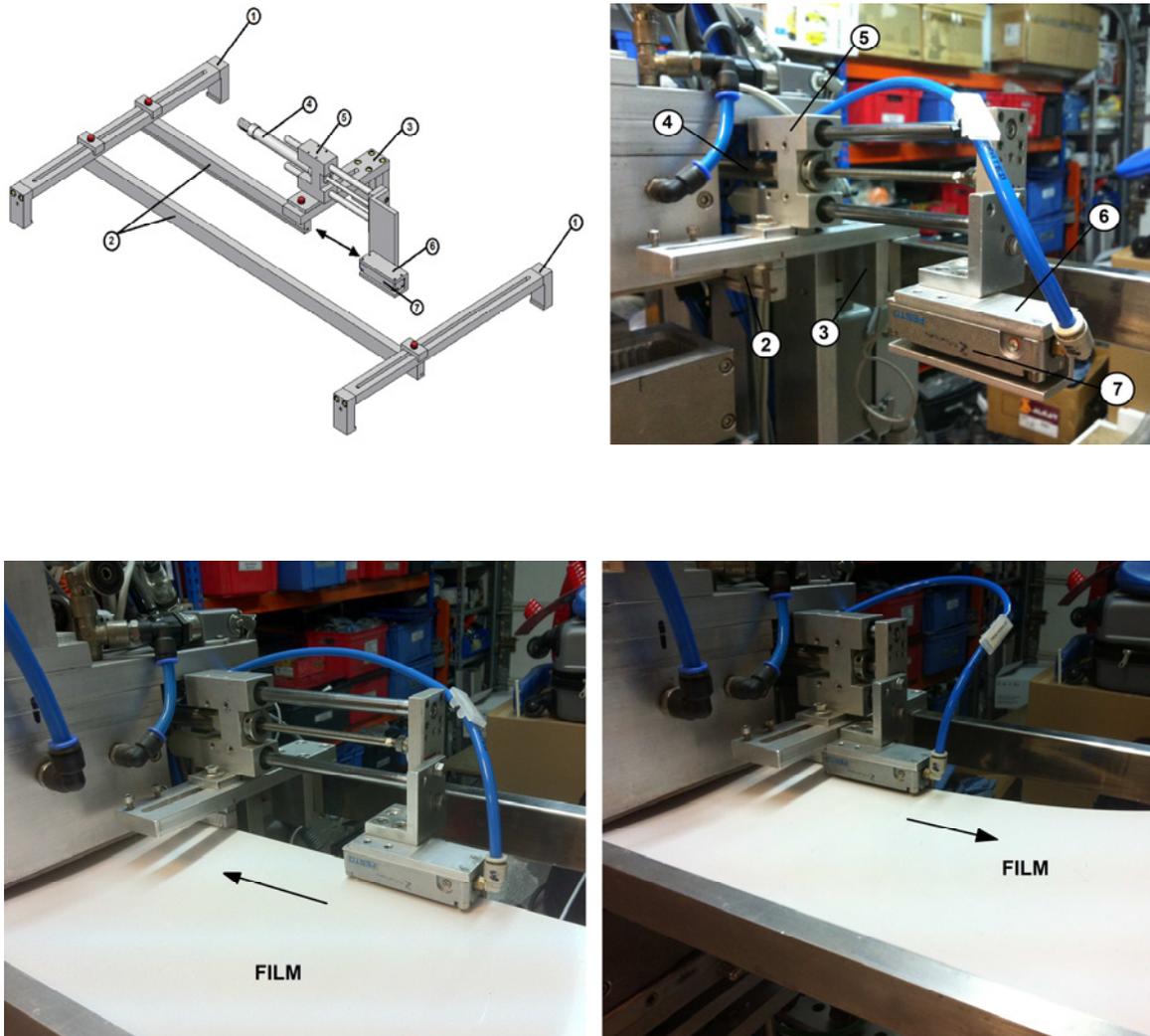


Fig. 6.34: Tracción de Film.

6.3.3.- Construcción de la estación de precalentamiento.-

La estación de precalentamiento está dispuesto paralelamente al bastidor de máquina, alineada a la estación de termoformado y con una separación (entre el centro del molde de termoformado y el centro del alvéolo del precalentamiento) igual a la del paso de avance del sistema de tracción del film.

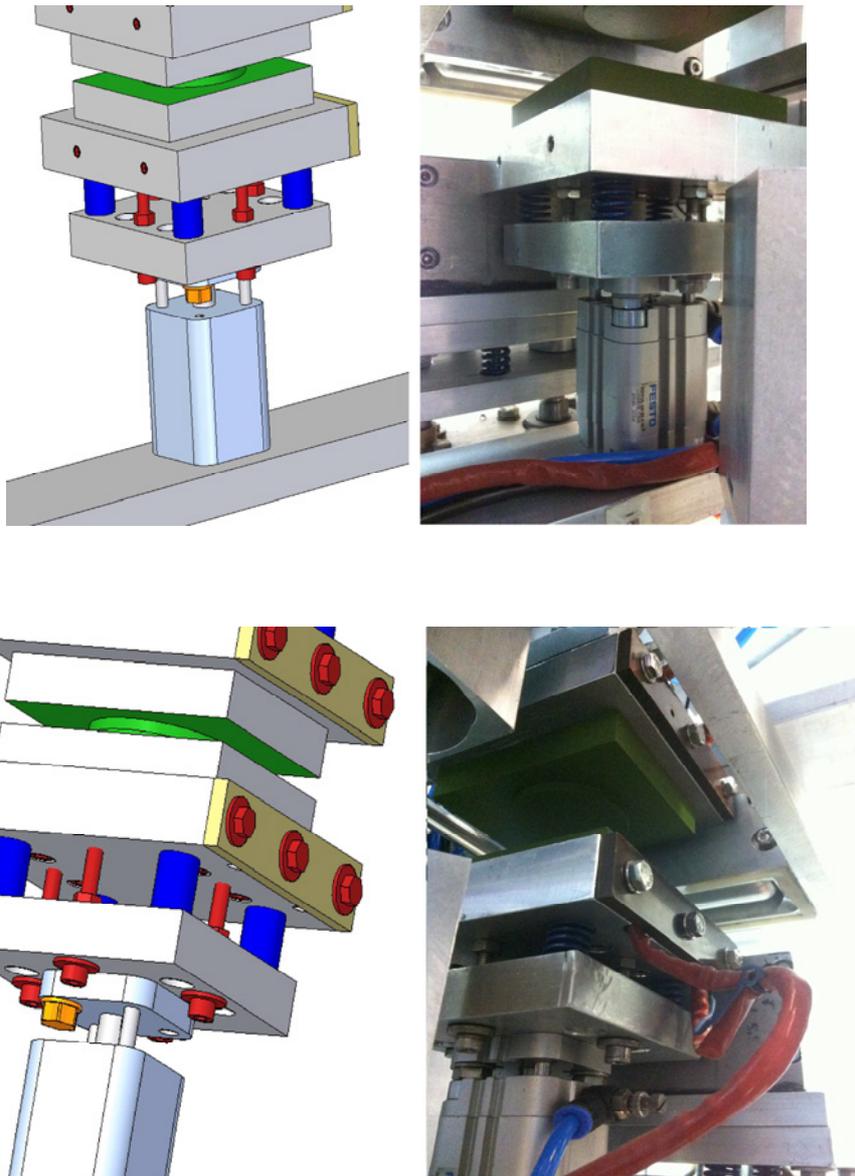
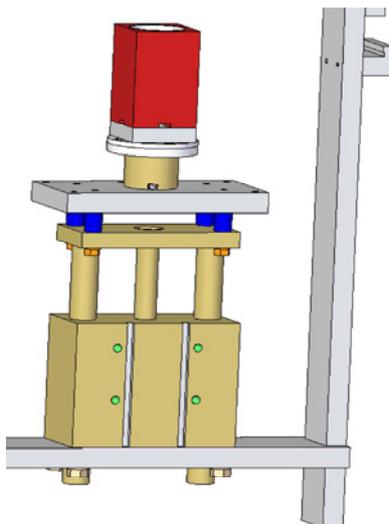
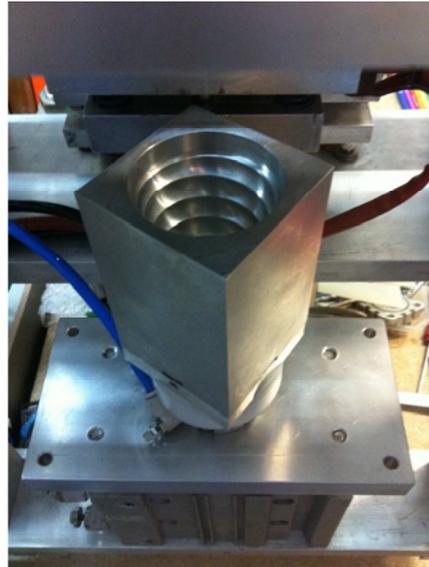
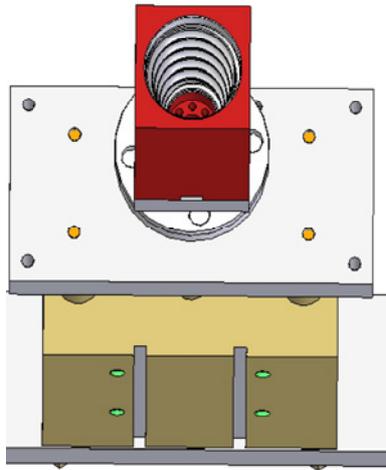


Fig. 6.35: Estación de precalentamiento.

6.3.4.- Construcción de la estación de termoformado.-

La estación de termoformado se ha fabricado con materiales especiales para uso alimentario (acero inoxidable AISI 316), aluminio 7070 y materiales con propiedades de transferencia térmica especiales (Syntac).



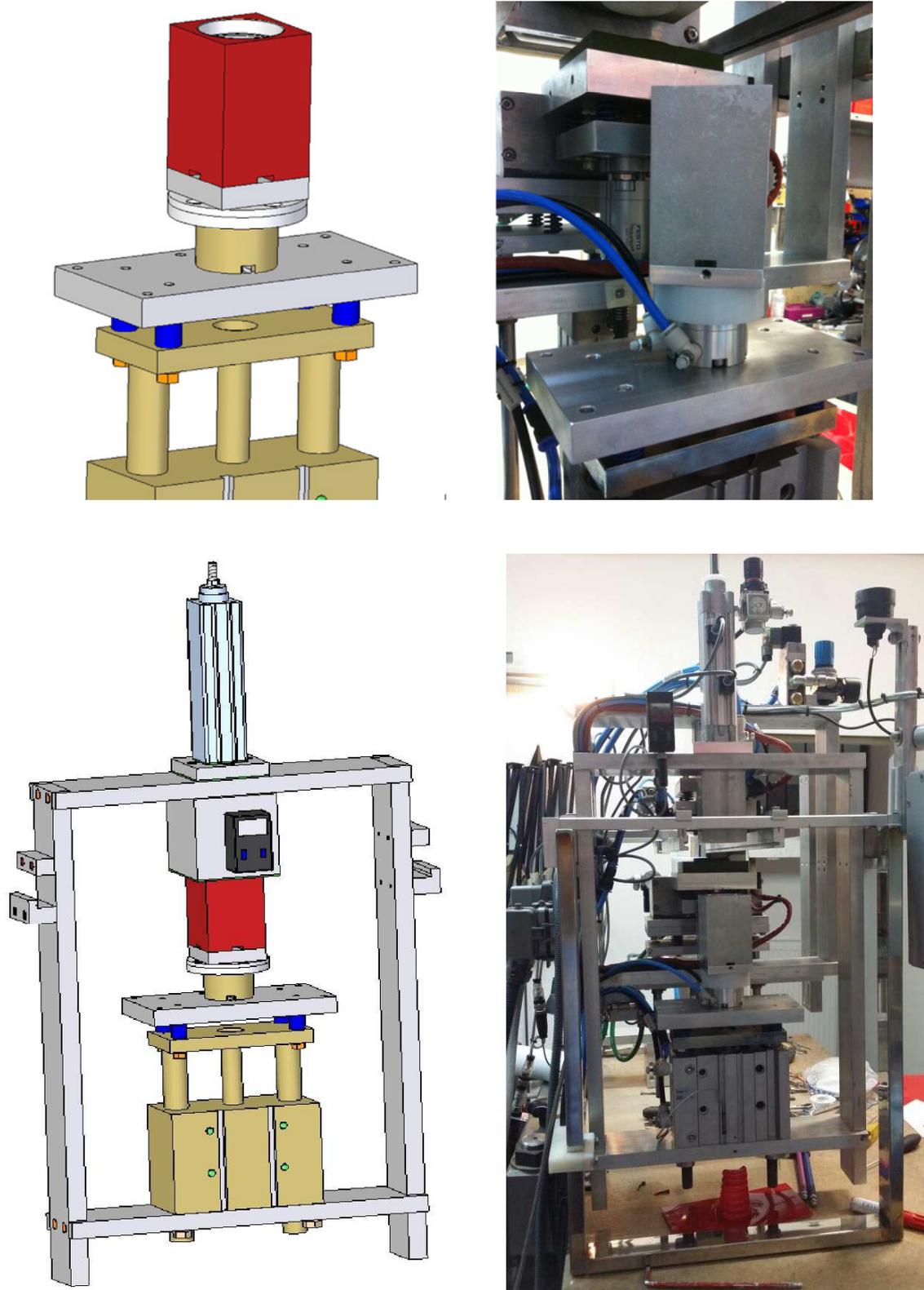


Fig. 6.36: Estación de termoformado.

6.3.5.- Instalación eléctrica, neumática y de automatismo.-

Las instalaciones eléctricas y de automatismo se han dispuesto dentro de un cuadro hermético, ubicado en la parte inferior de la máquina. Las instalaciones neumáticas están repartidas, de forma eficiente, lo más cercana a la estación de máquina que corresponda, centralizándose solamente los bloques de válvula y equipo de mantenimiento de aire, en un lateral del cuadro eléctrico. A continuación describimos los tipos de instalaciones que requiere la máquina, así como su importancia y por que equipos están compuestos.

- INSTALACIONES ELÉCTRICAS.-

En la siguiente imagen se aprecian los principales elementos que forman la instalación eléctrica de máquina y en el armario eléctrico.

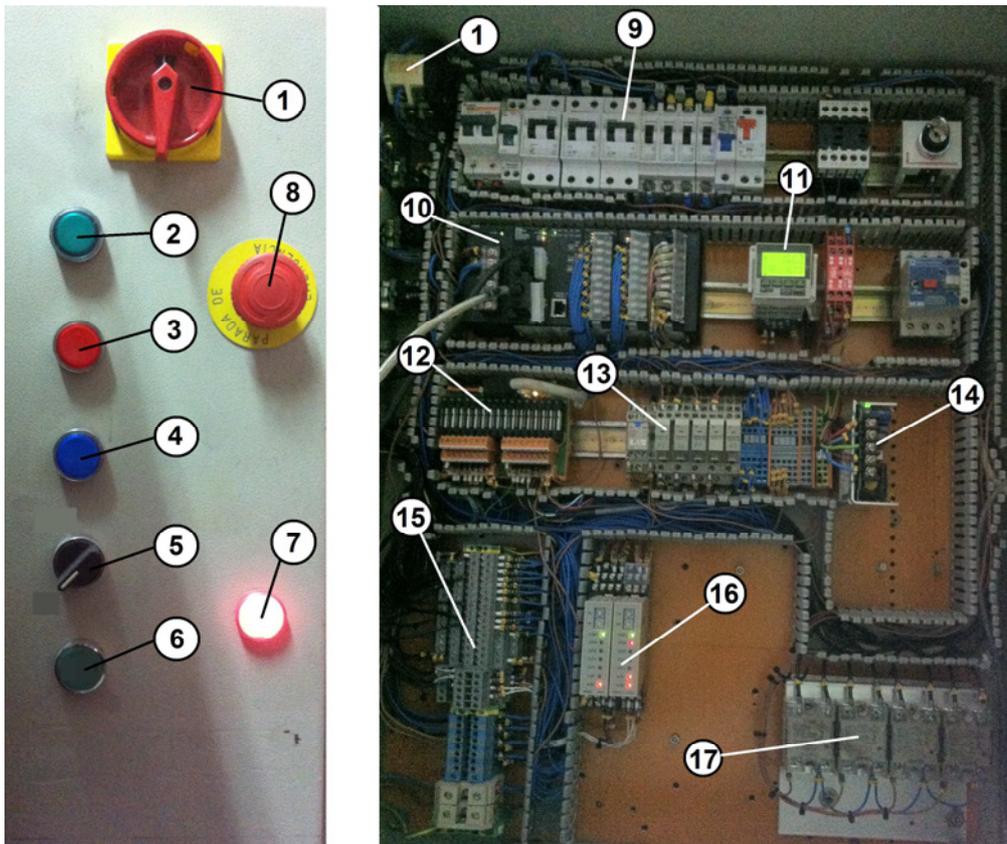


Fig. 6.37: Cuadro eléctrico de máquina.

- (1) Seccionador principal.
- (2) Pulsador de marcha.
- (3) Pulsador de paro.
- (4) Pulsador de rearme.
- (5) Selector manual / automático.
- (6) Pulsador marcha manual.
- (7) Lámpara de máquina energizada.
- (8) Seta de emergencia.
- (9) Elementos de protección termomagnética.
- (10) PLC.
- (11) Programador de controladores de temperatura.
- (12) Micro relé de salidas de PLC.
- (13) Contactores y relés.
- (14) Fuente de alimentación 24 Vcc.
- (15) Bloque de borneras de salida.
- (16) Controladores de temperatura.
- (17) Relé de estado sólido.

- INSTALACIONES NEUMÁTICAS.-

En la siguiente imagen se aprecian los principales elementos que forman la instalación neumática en máquina y bloques de válvulas.

- (1) Bloque de válvulas precalentamientos, tracción de film y freno neumático.
- (2) Distribuidor de aire.
- (3) Bloque de válvulas termoformado.
- (4) Regulador principal de presión de aire.
- (5) Llave principal de apertura y cierre de aire.
- (6) Filtro de agua / aceite.
- (7) Regulador de presión soplado termoformado.
- (8) Regulador de presión pistonaje termoformado.
- (9) Regulador de caudal de aire en pistonaje.
- (10) Electroválvula de soplado termoformado.

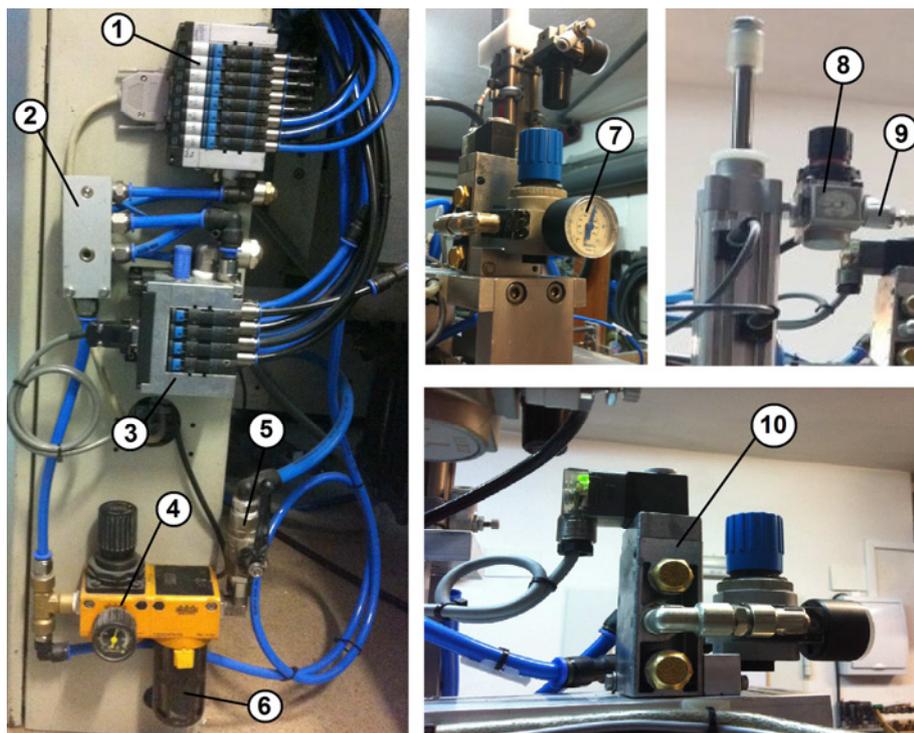


Fig. 6.38: Circuito neumático de máquina.

- INSTALACIÓN DE AUTOMATISMO.-

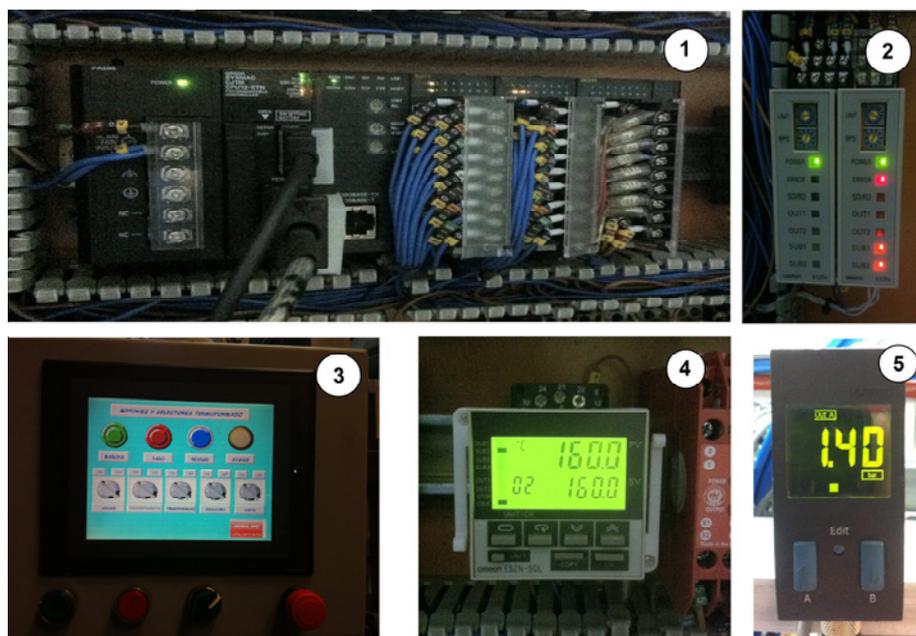


Fig. 6.39: Automatismo de máquina.

Los principales componentes del automatismo de máquina son:

- (1) PLC.
- (2) Controladores de temperatura.
- (3) Pantalla táctil.
- (4) Programador de controladores de temperatura.
- (5) Presostato digital.

6.4.- Montaje, puesta a punto y pruebas.-

6.4.1.- Montaje de máquina.-

El montaje de máquina se realizó incorporando cada una de las estaciones de máquina sobre el bastidor, fijándolas mecánicamente mediante mordazas laterales.

Sobre el armario eléctrico (1) se monta el bastidor, fijándose mediante 6 tornillos M8x30mm (2), sobre el bastidor se monta el sistema de tracción de film (3), fijándose mediante mordazas laterales y alineándose longitudinalmente manteniendo un paralelismo entre los largueros de sistema de tracción y del bastidor, respetando una separación de 121,5mm (a), (b) (Fig. 6.40)

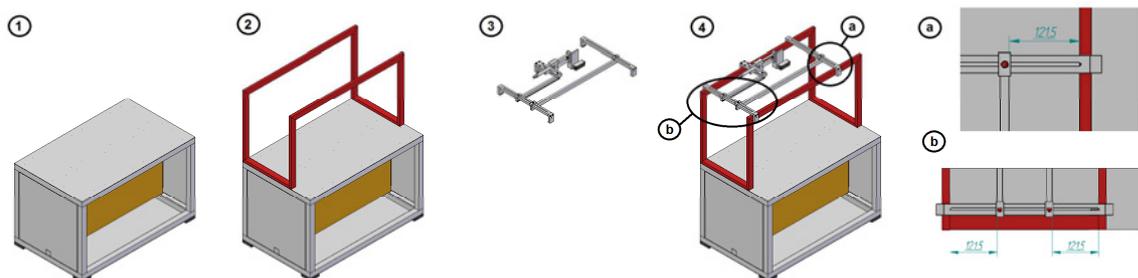


Fig. 6.40: Montaje de sistema de tracción de film.

Una vez montada el sistema de tracción (1), se procede a montar la estación de precalentamiento (2), fijándola lateralmente y centrarla respecto al bastidor a una separación de 195mm (a), quedando dispuesta en el bastidor según fig. 6.41 (b).

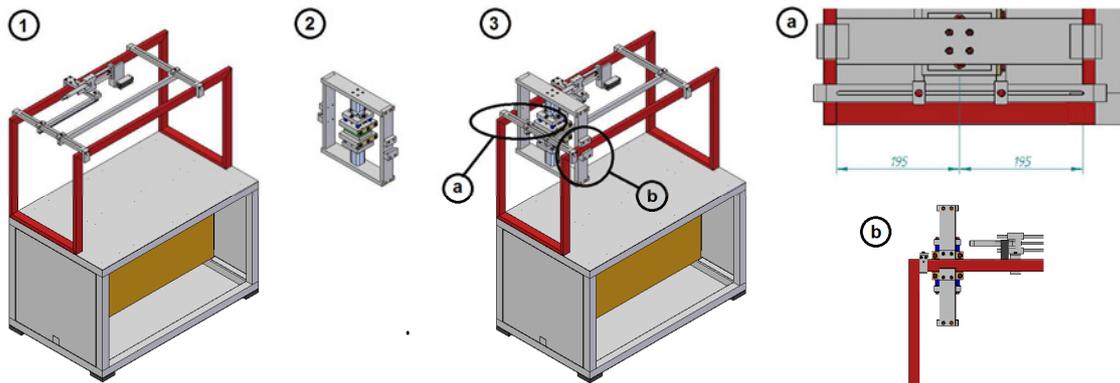


Fig. 6.41: Montaje de estación de precalentamiento.

El montaje de la estación de termoformado (1) se realiza a continuación de la estación de precalentamiento (2), centrándola respecto al bastidor a una distancia de 195mm (a). Considerando que las estaciones de precalentamiento y termoformado están centradas y alineadas entre sí y con el bastidor, se procede a separarlas, siendo esta distancia de separación el llamado paso de avance. El paso de avance, es la distancia que se desplaza el film, por acción del sistema de tracción, con el cual se debe asegurar que el centro de la superficie precalentada coincida con el centro de la superficie a termoformar. En nuestra máquina el paso de avance es de 130mm, tal como se aprecia en la figura (a). La estación de termoformado quedaría dispuesta según la fig. 6.42 (b).

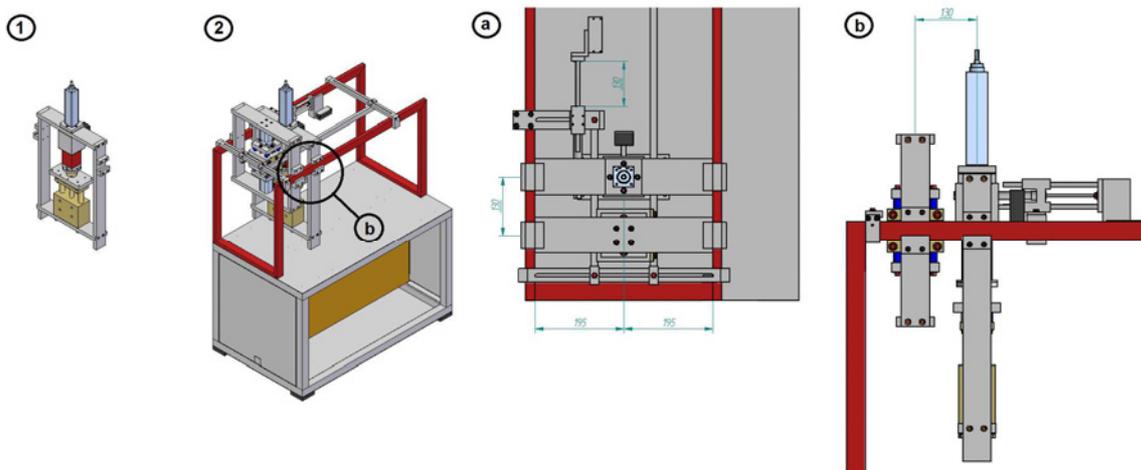


Fig. 6.42: Montaje de estación de Termoformado.

Finalmente se obtiene la máquina montada según se aprecia en la Fig. 6.43.

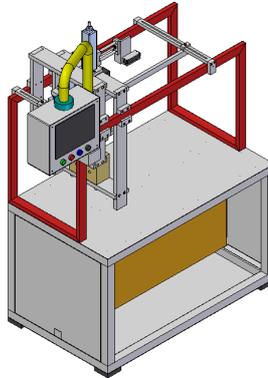


Fig. 6.43: Montaje de máquina.

6.4.2.- Puesta a punto y pruebas de termoformado.-

Previo a las pruebas de termoformado se tiene que realizar la puesta a punto de la máquina. En la puesta a punto se consideran las distintas variables que intervienen en el proceso de termoformado para sincronizadas y optimizadas a tal punto que el tiempo de ciclo de máquina sea el menor posible.

En la estación de avance de film, se deben ajustar los parámetros (tiempos de retardo), sincronizar las señales de activación de las electroválvulas y ajustar los reguladores de caudal para lograr el sincronizado de los movimientos tal como lo detallaremos tomando como referencia la fig. 6.44.

El punto "A" es el inicio de ciclo de máquina, en ese instante se debe cerrar la pinza de tracción o freno, fijando el film listo para iniciar su desplazamiento. En ese mismo instante se inicia la activación del cilindro de tracción de film, iniciando su desplazamiento según la rampa de aceleración definida entre los puntos "A" y "B". El desplazamiento del cilindro de tracción se mantiene hasta el punto "C", en el cual inicia su parada describiendo una rampa de desaceleración definida entre "C" y "D". En el punto "D" finaliza el desplazamiento del cilindro de tracción y realiza la apertura de la pinza de tracción o freno, liberando el film desplazado a su nueva posición,

seguidamente retorna el cilindro de tracción a su posición de origen, esperando a que en punto “L”, finalice el ciclo de máquina e inicie el siguiente.

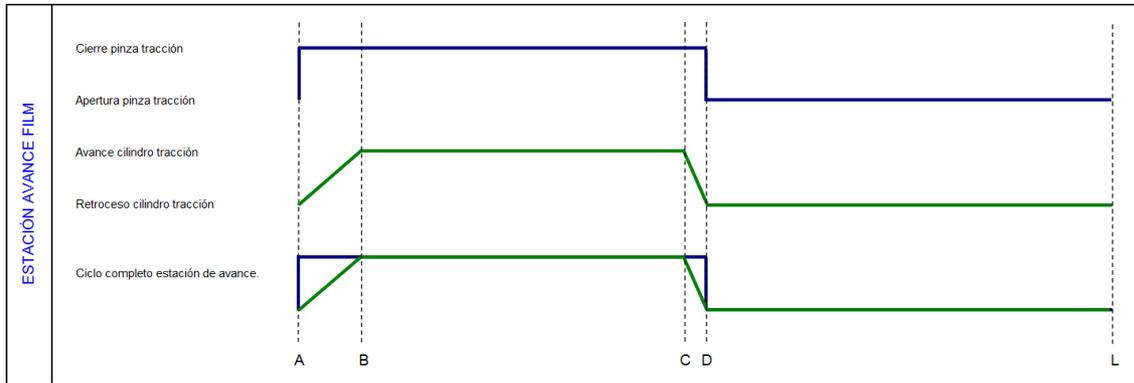


Fig. 6.44: Puesta a punto estación de avance de film.

En la estación de precalentamiento, el sincronizado de las señales se realiza mediante tiempo de retardo, para la activación de la electroválvula que gobierna el cilindro de apertura y cierre de las placas de precalentamiento.

En el inicio del ciclo de máquina “A” las placas de precalentamiento permanecen abiertas hasta que finaliza el desplazamiento de tracción del film y se realiza la apertura de la pinza de tracción “D”, en este punto se inicia el cierre de las placas de precalentamiento hasta el final del ciclo de máquina “L”.

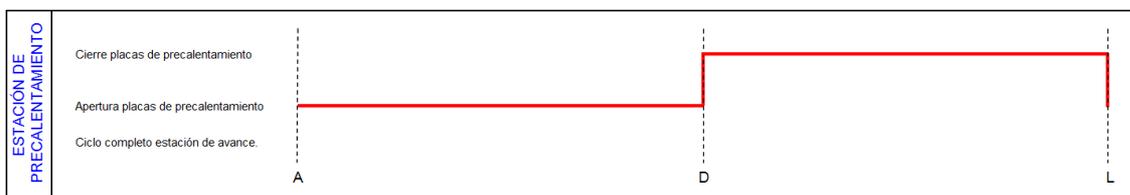


Fig. 6.45: Puesta a punto estación de precalentamiento.

En la estación de termoformado, la puesta a punto se realiza mediante el sincronizado de las subestaciones de grupo de elevación, pistonaje y molde y termoformado. Para lograr este sincronizado se cuenta con parámetros como tiempo de retardo de

activación de señales digitales, regulación de presión y caudal de aire, detectores magnéticos de recorrido de cilindros neumáticos, entre otros.

Las secuencias de termoformado se inician cuando termina el desplazamiento del cilindro de tracción e inicia el cierre de las placas de precalentamiento "D", en ese instante se inicia el desplazamiento vertical del grupo de elevación, describiendo una rampa de aceleración definida por los puntos "D" y "F", paralelamente se inicia el giro del molde, para posicionarse a la espera del termoformado del envase. El giro del molde finaliza en "E" describiendo una rampa de aceleración entre "D" y "E" asegurándonos en que finalice su moviendo un tiempo antes que el del grupo de elevación, cuya rampa de aceleración finaliza en "F". En el punto "F" tenemos en posición el molde, inmediatamente se inicia el desplazamiento vertical de la subestación de pistonaje, moviendo el pistón que iniciará el desplazamiento del film precalentado. En el transcurso de esta rampa de aceleración del pistonaje ("F" y "H"), se inicia el soplado y la expansión del film en el interior del molde, el soplado se mantiene hasta el punto "I" de la misma manera que la activación del pistonaje. En ese mismo instante se inicia la descrompresión del molde, el cuál tardará un tiempo determinado entre "I" y "J" e iniciará a continuación el desmoldeo del envase desde "J" hasta "K", mediante el giro del molde. Éste giro debe estar sincronizado con el grupo de elevación mediante sus rampas de desaceleración, para garantizar un desmoldeo del envase y liberación del mismo, antes de que termine el desplazamiento del grupo de elevación.

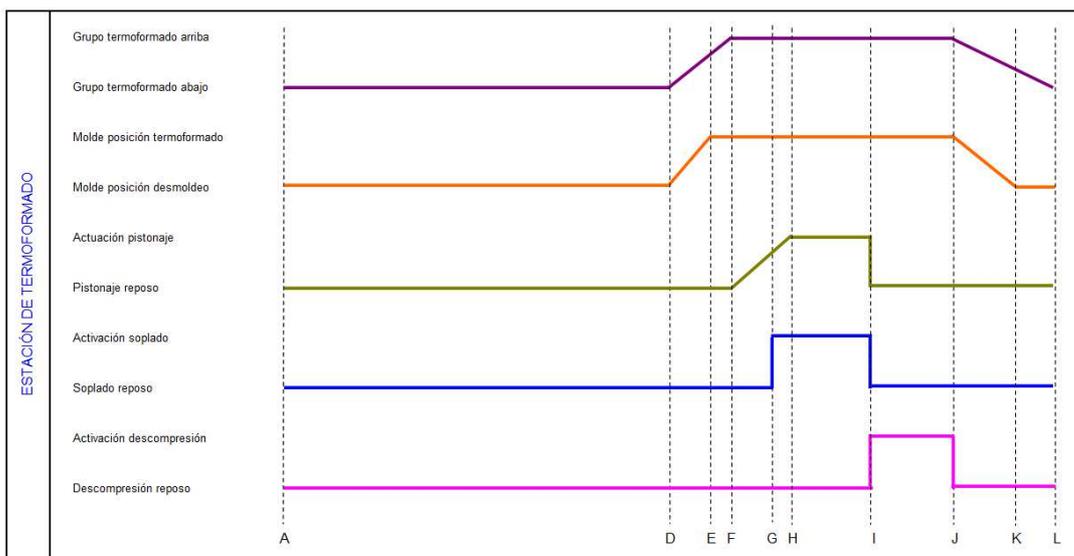


Fig. 6.46: Puesta a punto estación de termoformado.

Una vez realizada la puesta a punto, se realizan las pruebas de termoformado, utilizando una lámina de PS (poliestireno) de 1mm de espesor.

En la secuencia de precalentamiento (1), se identificó la temperatura y el tiempo de precalentamiento, posterior a una serie de pruebas y comprobaciones mediante la toma de temperatura del film precalentado. La disposición elástica del film (2) precalentado determinó los parámetros definitivos de temperatura de esta estación, 160°C (3).

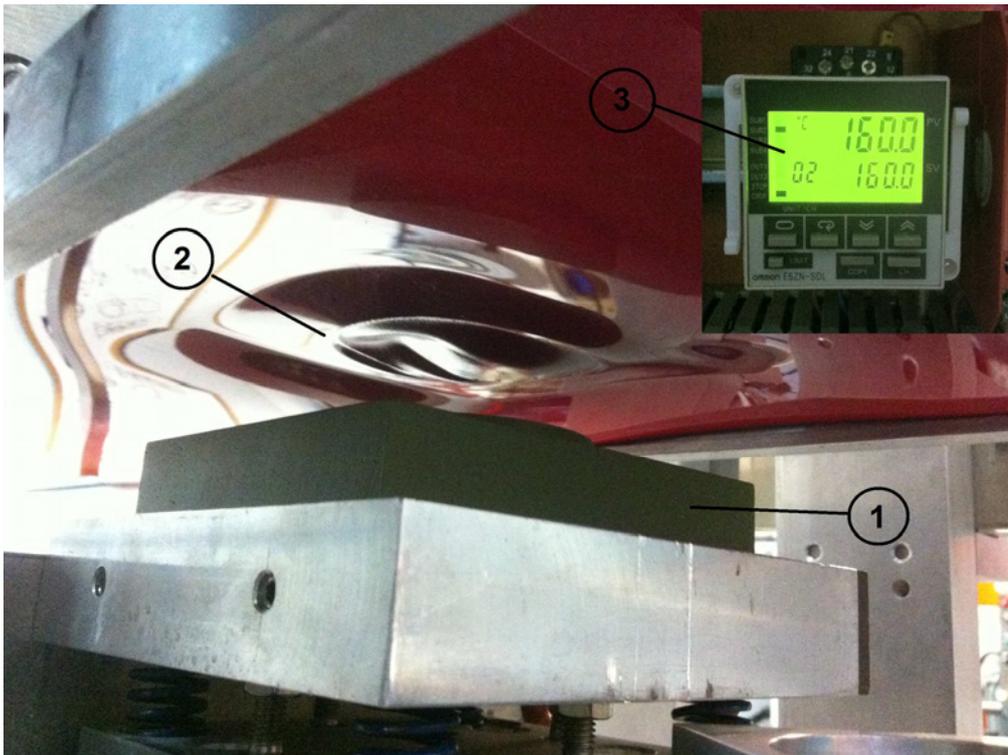


Fig. 6.47: Pruebas de precalentamiento.

En la secuencia de termoformado, previamente calentado el film, se procede a probar el termoformado del envase, para lo cual se ajustan los parámetros de desplazamiento de los cilindros de pistonaje (Fig 6.48)(en esta imagen se ha realizado un corte en el envase para poder apreciar el pistón de termoformado), grupo de elevación y giro del molde de termoformado, así como los tiempos de permanencia de pistonaje, soplado, decompresión y desmoldeo (Fig 6.49)((a) envase termoformado (b) molde). Con estos ajustes y comprobando la definición del envase, la integridad en su geometría y la uniformidad en el espesor del film, se obtiene el envase definitivo (Fig. 6.50).



Fig. 6.48: Pistonaje en el proceso de termoformado.

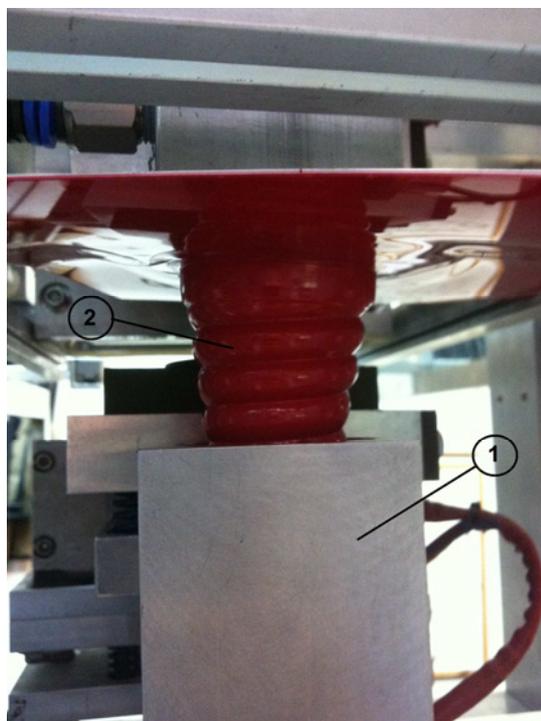


Fig. 6.49: Desmoldeo de termoformado.



Fig. 6.50: Obtención de envase termoformado.

6.4.2.1.- Resultados y conclusiones de las pruebas.-

Los resultados de las pruebas han sido satisfactorias se han obtenido envases termoformados con una terminación estética, mecánica y funcional aceptable (Fig. 6.51), se ha definido los parámetros que intervienen en el proceso de termoformado como; temperatura, tiempos de retardo, tiempo de ciclo de máquina, etc. (Fig. 6.52), los mismos que quedarán guardados en la memoria del autómata.



Fig. 6.51: Resultado de envase termoformado.

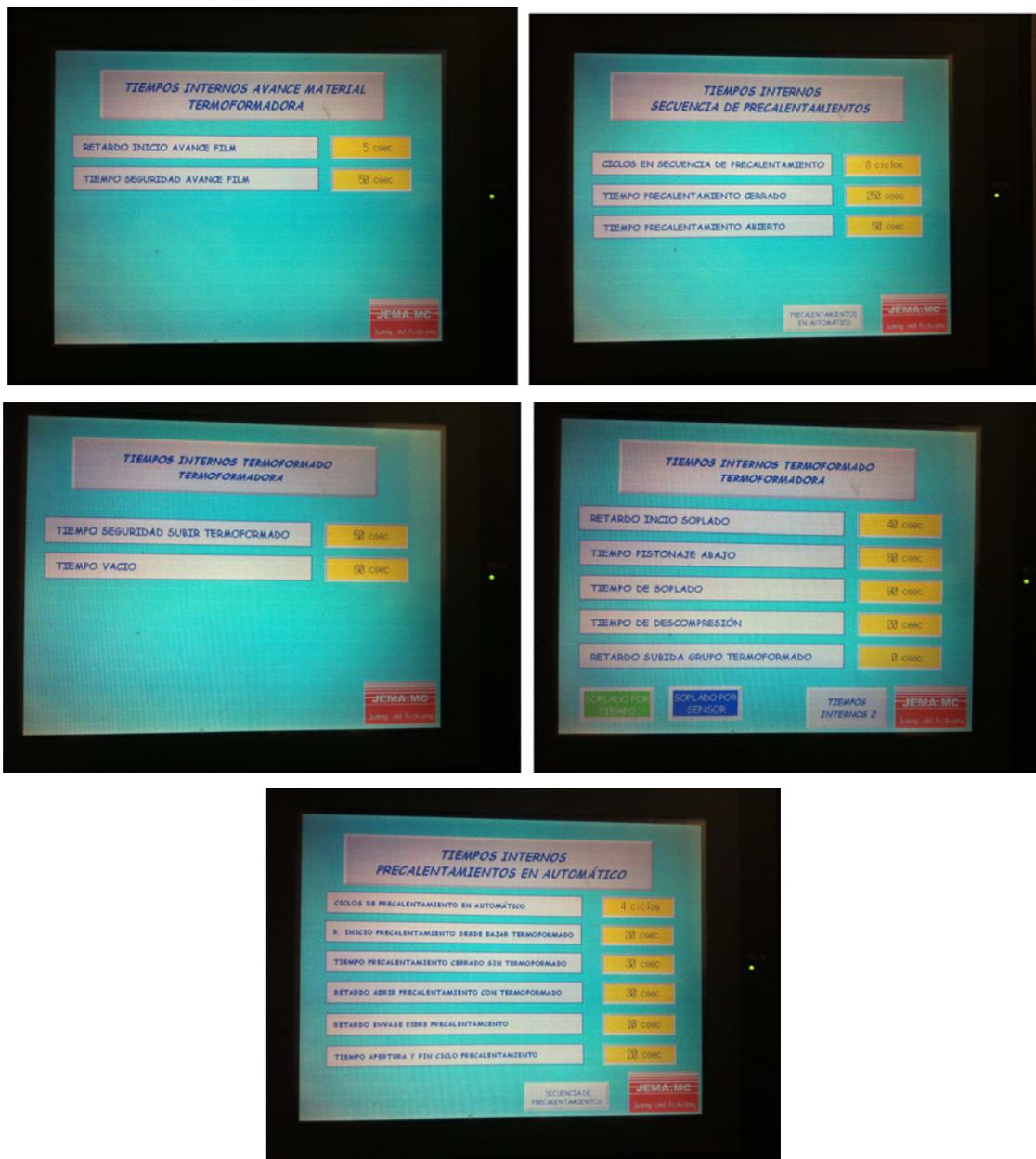


Fig. 6.52: Parámetros de termoformado.

La principal conclusión a la que podemos llegar es que; con el control de temperatura de la estación de precalentamiento, el control de las variables de desplazamiento de las subestaciones de termoformado, así como la incorporación del sistema de apertura y cierre del molde de termoformado, es posible obtener envases con buenas prestaciones y estéticamente aceptables.

7.- RESULTADOS DEL PROYECTO.-

Los resultados obtenidos del presente proyecto son:

- Se han identificado las propuestas tecnológicas que existen en el mercado, para el termoformado de envases de geometría especial.
- Se han identificado los requerimientos del cliente.
- Se han identificado y evaluado a los competidores.
- Se han identificado las características críticas para el éxito del proyecto.
- Se ha diseñado y fabricado una máquina prototipo a escala de laboratorio, para el termoformado de envases de geometría especial.
- Se ha diseñado, fabricado e incorporado al proceso de termoformado, de forma satisfactoria, un sistema innovador para el desmoldeo del envase.
- Se ha obtenido el envase termoformado de geometría especial.

8.- CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.-

8.1.- Conclusiones en el ámbito científico - técnico.-

A partir de los resultados obtenidos es posible concluir que se han alcanzado los objetivos de esta tesis:

1.- Mediante la aplicación sistemática del QFD, se han logrado los objetivos esperados en el diseño del envase termoformado con geometría especial, cumpliendo con las especificaciones fundamentales expresadas por el cliente. De esta manera se provee a la comunidad científica un nuevo ejemplo de aplicación exitosa del QFD.

Las ventajas del QFD se vieron reflejadas en el desarrollo del prototipo:

- La identificación del cliente, sus exigencias y la priorización de las mismas, nos sirvió para definir los requerimientos principales del producto.
- La búsqueda en el estado del arte nos sirvió para identificar a los competidores y definir las características técnicas, diferenciadoras, más importantes de nuestro producto frente a la competencia.
- La identificación de las partes significativas y las claves críticas para el éxito del diseño, nos sirvió para centrar los recursos económicos y temporales en el diseño de las estaciones de máquina involucradas. Con lo cual se generó una optimización importante de recursos de tiempo y dinero.

2.- Se ha desarrollado con éxito un mecanismo innovador en el proceso de termoformado, con el cual se obtienen envases de geometrías especiales que no serían posible obtenerlos con los procesos de termoformado actuales. Para obtener estos resultados, se ha tenido que diseñar, específicamente para este proceso, el “Sistema de Termoformado mediante giro de molde”, así como la integración, adaptación y control de variables que intervienen en los distintos tipos de termoformado, en uno solo.

3.- Se ha diseñado y fabricado el prototipo de una máquina termoformadora, a escala de laboratorio, en el cual se termoforma el envase de geometría especial.

4.- Utilizando el proceso de termoformado mediante giro de molde, se ha podido obtener el envase esperado y más de 20 variaciones geométricas del mismo.

5.- Se ha profundizado en el análisis de distintas variables, por individual y en conjunto, que intervienen el proceso de termoformado, optimizándolas en magnitud y sincronismo para obtener un envase más uniforme en pared, color y acabado superficial, así como aumentar su rigidez mecánica y funcionalidad.

Se estima que estos resultados son susceptibles de ser publicados en revistas científicas internacionales indexadas, tanto en el ámbito de la metodología de diseño de producto, como de los procesos industriales avanzados.

8.2.- Futuro desarrollo, prototipo industrial.-

Como siguiente paso, al presente trabajo, se pretende desarrollar un prototipo a escala industrial, en el cual en un mismo ciclo de trabajo pueda termoformar 6 envases. Este desarrollo se encuentra actualmente en la fase de ingeniería del detalle. El diseño de este prototipo se basa fundamentalmente del prototipo de laboratorio, con el cual obteníamos 1 envase por ciclo. Este prototipo tendrá una serie de características que lo adaptarán a los rigores de una producción industrial real. Las principales modificaciones están referidas al diseño en un escalado mayor al actual prototipo, redimensionando desde el bastidor de máquina hasta cada una de las estaciones que la conforman, así como el rediseño eléctrico, neumático y de automatismo.

8.3.- Futuras líneas de investigación.-

La diversidad y gran uso del proceso de termoformado alientan a los investigadores a desarrollar formas más sofisticadas y rentables para el proceso de termoformado. A continuación, se mencionan algunos desarrollos e investigaciones que se consideran importantes para futuras líneas de investigación.

8.3.1.- Teoría Fuzzy y PID en el sistema de control de temperatura.-

En el proceso de termoformado del plástico, el control de temperatura tiene una gran influencia en la calidad de plástico que forma. Si la temperatura de la lámina de plástico es inexacta, habrá mucho más defectos en el envase termoformado.

En la actualidad el control de la temperatura depende del criterio y la experiencia que tiene el operario. Este diseño se puede dirigir a controlar la temperatura de la placa de calentamiento de acuerdo con la temperatura de la hoja de plástico, aplicando los principios de la lógica difusa planteada específicamente en la teoría de control difuso PID auto-adaptativa el control de la temperatura.

La lógica difusa es una metodología que proporciona una manera simple y elegante de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta. Una de las ventajas de la lógica difusa es la posibilidad de implementar sistemas basados en ella tanto en hardware como en software o en combinación de ambos. La lógica difusa es una técnica de la inteligencia computacional que permite trabajar con información con alto grado de imprecisión, en esto se diferencia de la lógica convencional que trabaja con información bien definida y precisa. Es una lógica multivaluada que permite valores intermedios para poder definir evaluaciones entre si/no, verdadero/falso, negro/blanco, caliente/frío, etc. [79].

La teoría de control Fuzzy PID Auto-adaptativa, utiliza el principio radical de las matemáticas difusas, basado en la condición de control y las reglas del sistema de control de temperatura de la máquina de termoformado, luego comienza la inferencia difusa y obtiene los mejores parámetros del control Fuzzy PID auto-adaptativa del sistema de control de temperatura [80].

El principio de funcionamiento del control Fuzzy PID auto-adaptable es como se muestra en la (Fig. 8.1).

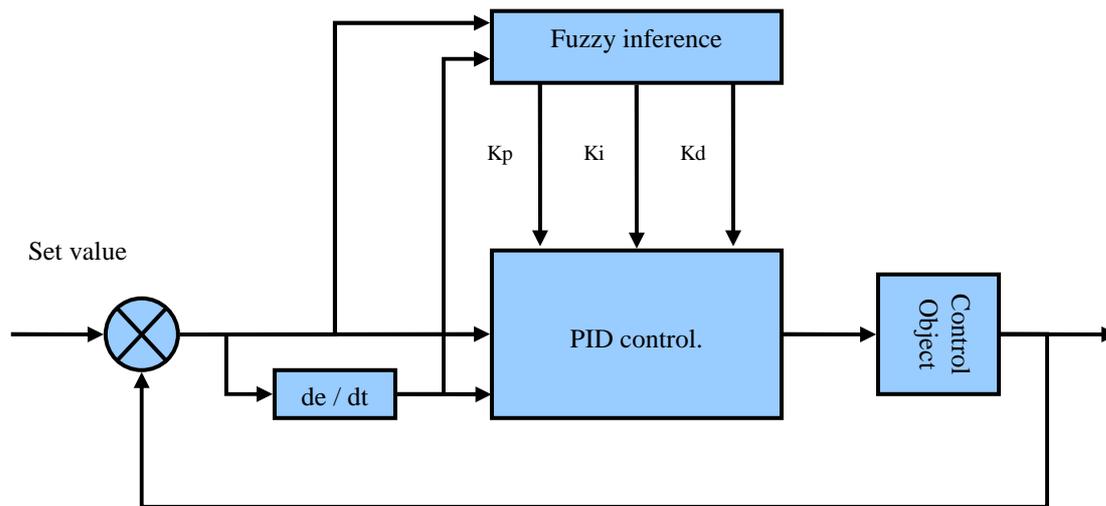


Fig. 8.1: Diagrama de flujo de la Teoría de control Fuzzy PID Auto-adaptativa [80].

Según observamos en la figura, este control se basa en la búsqueda de relaciones de los tres parámetros de control difuso PID auto-adaptativa (K_p , K_i , K_d) (proporcional, integral y diferencial) y la temperatura de la placa “e” y la velocidad de variación de la temperatura de la placa de/dt . En el proceso de control, el sistema de control de temperatura detecta la temperatura “e” y de la velocidad de cambio de temperatura de/dt a través del sensor de temperatura de la placa de precalentamiento, entonces modifica los tres parámetros de control Fuzzy PID auto-adaptativo en el tiempo. Así que los tres parámetros pueden satisfacer las demandas de los diferentes temperaturas “e” y la velocidad de variación de la temperatura de/dt .

8.3.2.- Simulación del termoformado asistido.-

El termoformado se emplea extensamente en la industria para la fabricación de productos ligeros, de paredes delgadas de lámina de plástico pre-extruido y su aplicación es más grande en los envases. Durante muchos años se han hecho intentos para simular el proceso y por lo tanto de explotar las herramientas computacionales modernas para la optimización de procesos. Sin embargo, el progreso en esta área se ha visto obstaculizada en gran medida por el insuficiente conocimiento de la respuesta de los materiales poliméricos bajo condiciones de termoformado y una incapacidad para medir este y otros fenómenos de procesamiento de precisión. En los últimos años alguna dirección se ha hecho a estos problemas a través de los avances en las

tecnologías de medición y, en particular, el desarrollo de máquinas de ensayo biaxiales que están diseñados para reproducir las condiciones en los procesos de termoformado. En esta investigación se pretende desarrollar una simulación del proceso de termoformado basado en elementos finitos avanzado. En el fondo es una gran deformación sofisticada, acoplado térmicamente (LSTC) modelo de material de polipropileno, que se ha desarrollado después de varios años de investigación y está basado directamente en los resultados de pruebas biaxiales a temperaturas elevadas. Este modelo de material se ha demostrado que proporciona un excelente ajuste a los datos biaxiales y para ofrecer una plataforma computacional muy estable para la simulación del proceso. El rendimiento de la simulación de trabajo se validó mediante la comparación con los resultados de pruebas experimentales a juego, y esto permitió la investigación de la sensibilidad de la salida del proceso (en la forma de distribución del espesor de parte de pared) a los cambios en una serie de otros parámetros de procesamiento. Este trabajo confirma que el proceso es más sensible a los parámetros que controlan la fricción entre el punzón y la lámina a termoformar, en el proceso de termoformado del tipo asistido [25].

La finalidad de esta investigación es obtener un acoplamiento termo-mecánicamente entre el punzón y la lámina. En la fig. 8.2, se muestra una imagen de la simulación, en la cual se observa la incidencia del punzón (plug) en el momento en que inicia el desplazamiento de la lámina (sheet), al interior de la cavidad del molde de termoformado (cavity), generando el flujo de volúmenes de aire (fluid cell) entre la cara inferior de la lámina y el molde y entre la cara superior de la lámina y la campana de termoformado.

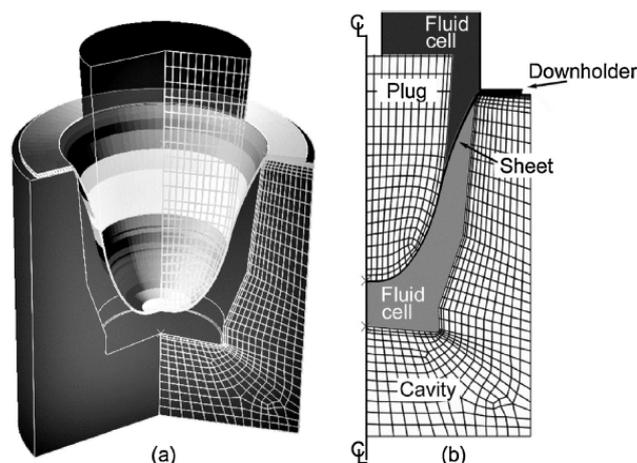


Fig. 8.2: Simulación del proceso de termoformado asistido por pistón [25].

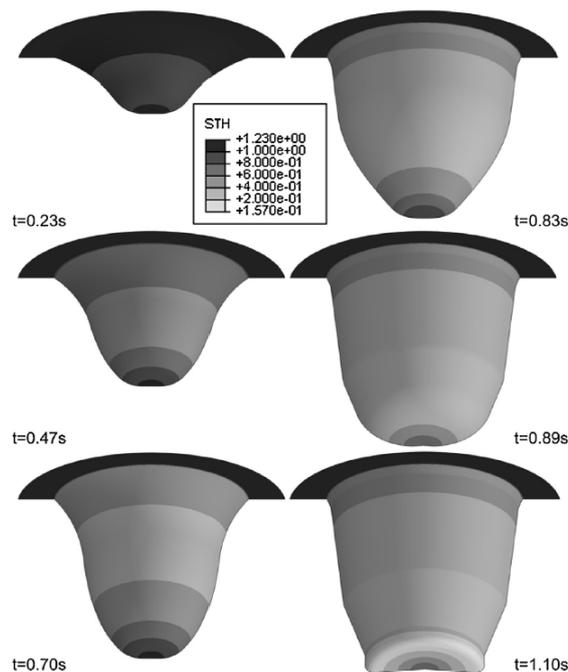


Fig. 8.3: Evolución de espesor de la pared de envase [25].

En la fig. 8.3, podemos observar las imágenes, simuladas, en el cual se relacionan los espesores del film termoformado con el tiempo, la incidencia del punzón y la del soplado de aire. El punzón inicia el desplazamiento desde $t=0,00$ sg., hasta $t=0,70$ sg. y a partir de este tiempo hasta $t=1,10$ sg., (que es cuando el envase está termoformado) incide el soplado de aire.

En un proceso de termoformado “ideal”, donde todas las variables son controladas para intentar garantizar un espesor de material uniforme, la geometría del envase, lo limita. Las cavidades, protuberancias, textos, figuras, logotipos, etc., del diseño del envase conforman una barrera al desplazamiento uniforme del film termoformado, por lo cual no es posible garantizar un espesor del material uniforme en toda la superficie del envase.

8.3.3.- Efectos del coeficiente de fricción del film en el proceso de termoformado.-

El objetivo de este trabajo de investigación es obtener, a través de un montaje experimental sencillo, la real influencia de la fricción y las condiciones de proceso en el proceso de termoformado. El uso de herramientas de simulación para optimizar este

proceso requiere del conocimiento del coeficiente de fricción [μ] del film, las condiciones de temperatura y velocidad utilizados, y debido a eso, el software no tiene una amplia base de datos. Para ello, los usuarios suponen μ con la diferencia anterior conocida entre la simulada y los datos experimentales. Por esta razón, la obtención de μ puede permitir lograr simulaciones más precisas.

Dado que el proceso de formación puede implicar la interacción mecánica entre la lámina ablandada y el molde, el fenómeno de fricción entre estos elementos tiene un papel importante en la calidad de las piezas moldeadas. Esto se puede observar claramente en las técnicas de termoformado asistido por pistón. La principal influencia de la fricción se basa en la determinación de si una adhesión debería presentarse en el momento en que el film entra en contacto con el molde o el punzón. Si el film se pega al molde, que es muy común cuando hay una alta fricción, el film no continuará su estiramiento y mantendría su espesor. Por otro lado, si la fricción es baja, el estiramiento del film sobre el molde deberá permitir su deformación y que significa una disminución de espesor en las secciones inferiores de la pieza.

Como resultado de esta investigación se concluyó que el coeficiente de fricción " μ " aumentó con la temperatura de la lámina, también no fue posible detectar una significativa variación del μ considerando el material del punzón. [81]

8.3.4.- Predicción de distribución de espesor de pared en el termoformado simple.-

En el presente trabajo de investigación se pretende identificar las variables que mas influyen en el espesor de la pared del envase termoformado, para tal fin se ha realizado simulaciones utilizando el software LS-DynaTM, paralelamente a ensayos en laboratorio. Las distribuciones de espesor obtenidos de los experimentos se compararon con los resultados de la simulación.

Los resultados obtenidos de la simulación y ensayos de laboratorio, muestran que el parámetro que más afecta a la distribución del espesor de la pared, es la geometría del anillo de sujeción, por tal motivo, para producir envases termoformados que tienen una distribución de espesor más uniforme, la geometría de la zona de sujeción del film, se debe seleccionar de acuerdo con la geometría del producto que se está termoformando. [82].

En la Fig. 8.4, observamos la distribución del espesor de material en el envase, utilizando el software de simulación Ls-Dyna, para un film de PS (poli-estireno) de 2mm de espesor. Realizando una comprobación visual del espesor del material en el envase, se observa a contraluz, las sombras que generan las paredes de mayor espesor. (Fig. 8.5).

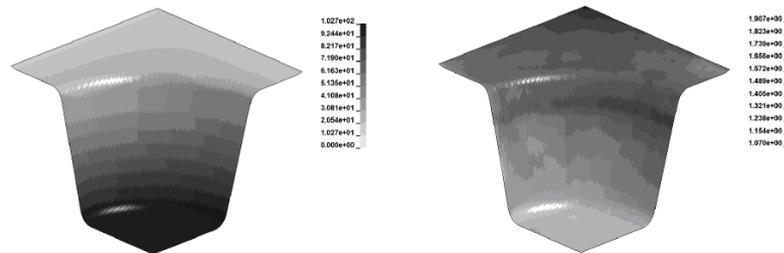


Fig. 8.4: Distribución del espesor del material en el envase termoformado [82].

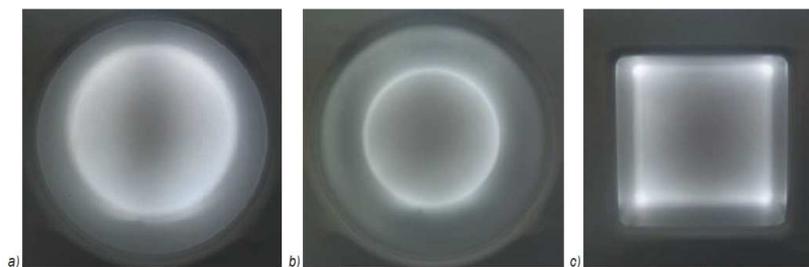


Fig. 8.5: Comprobación visual del espesor del material en envase termoformado [82] (a) Envase cilíndrico. (b) Envase cónico. (c) Envase cúbico.

9.- BIBLIOGRAFÍA.-

- [1] Mel Schlechter - BCC Research, Thermoformed Plastics: Technologies and Global Markets - 2012.
- [2] Syed Ali Ashter - Thermoforming of Single and Multilayer Laminates – Plastic Films Technologies, Testing and Applications, PDL Handbook Series. – Elsevier. 2014.
- [3] Md Muminul Islam Chy, Dr. Benoit Boulet – Development of an Improved Mathematical Model of the Heating Phase of Thermoforming Process – McGill University – Canada – 2011.
- [4] Gruenwald G. – Thermoforming. A plastic processing guide – Pennsylvania: Technomic Publishing – 1987.
- [5] Poller S, Michaeli W. – Film temperaturas determine the wall thickness of thermoformed parts – Society of Plastic Engineers – 1992.
- [6] T. Osswald, J. P. Hernandez-Ortiz – Polymer Processing – Modeling and Simulation, Hanser Verlag, 2006.
- [7] ZZ Li, KS Heo y SY Seol, "control de la calefacción óptima en función del tiempo en el termoformado de precalentamiento usando pasos de optimización duales", Revista Internacional de Ingeniería de Precisión y de Fabricación, Vol. 9, No. 4, pp. 51-56, 2008.
- [8] J.L Throne – Understanding Thermoforming – Hanser Verlag – 2008.
- [9] De Nichilo, Giorgio – Estación y método de termoformado con un sistema de enfriamiento rápido para los artículos termoformados – INVENES – Italia – 2004.
- [10] Zwaga, Ronald, De Olde, Remi – Envase para empaquetado en atmósfera modificada – INVENES – Países Bajos – 2014.
- [11] Richiyaado Aaru Paadeyuu – Method for parking moldable product and packed article thereof – Espacenet – Grecia – 1991.
- [12] Meyer Thierry – Method for thermoforming an internally braced dual-wall panel – Espacenet - Francia – 1988.
- [13] Dubois Jacques – Method and device for a tight packing under a thermoplastic and thermoformable film of products requiring an absolute protection – Espacenet - Francia – 1979.
- [14] Copland, Donald Scott, Halstead, Larry Dean, O'brien, Lawrence Edward – Recipiente perfilado termoformado de película flexible para productos granulares, y método y aparato para fabricarlo – INVENES – Estados Unidos – 1990.
- [15] Robache Patrick – Machine for packaging, under vacuum, food products or other products in packing trays – Espacenet - Francia – 1990.
- [16] Robache Patrick – Device and installation for forming and closing trays – Espacenet - Francia – 1991.
- [17] Theno Jacques – Thermoforming method and device, in particular for making a container – Espacenet - Francia – 1999.
- [18] Darr Richard C – Multi-layer container blow molding – Espacenet – Estados Unidos – 2001.
- [19] Turner Howard – Apparatus for and method of thermoforming plastic cans – Estados Unidos – 1984.
- [20] Ferravi Vito – Process for packing and preserving products which are perishable in the atmosphere, the relative apparatus and the package obtained – Espacenet – Italia – 1994.
- [21] Moisés Espinoza – Diseño de envases termoformados para la industria alimentaria – www.jema-mc.es – 2012.

- [22] Moisés Espinoza – Aplicación de la técnica QFD para el diseño de la estación de termoformado de una máquina termoformadora – Trabajo de investigación - 2011.
- [23] Moisés Espinoza – Fabricación de máquina termoformadora – Trabajo final “experto en la gestión de la innovación” - 2011.
- [24] Ertugrul Selcuk Erdogan, Olcay Eksi – Prediction of Wall Thickness Distribution in Simple Thermoforming Mould - Universidad de Trakya – Turquía - 2014.
- [25] C.P.J. O’Connor, P.J. Martin, J.Sweeney, G.Menary, P.Caton-Rose, P.E. Spencer – Simulation of the plug-assisted thermoforming of polypropylene using a large strain thermally coupled constitutive model – Queen’s University Belfast / University of Bradford – Irlanda / Reino Unido - 2013.
- [26] Hao-Tien Liu, Chih-Hong Wang - An advanced quality function deployment model using fuzzy analytic network process – Universidad de I-Shou - Taiwan – 2010.
- [27] Ying-Ming Wang, Kwai-Sang Chin - A Linear Goal Programming (LGP) approach to determining the relative important weights of customer requirements in Quality Function Deployment – Universidad de Fuzhou y Universidad de Hong Kong - China – 2011.
- [28] Akao – Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements Into Product Design – Productivity Press – Cambridge – 1990.
- [29] Herzwurm, G., Schockert, S. – The leading edge in QFD for software and electronic business – Productivity Press – Cambridge – 2003.
- [30] Barnett, W.D., Raja – Application of QFD to the software development process – Productivity Press – Cambridge – 1995.
- [31] Onut S., Tosun S., – An integrated methodology for supplier selection under the presence of vagueness: A case in banking sector – Turkia – 2014.
- [32] Prasad,K.G.D., Subbaiah,K.V., Rao,K.N. – Supply chain design through QFD-based optimization .J. Manuf. Technol. Manag. 25(5), 712–733. – 2014.
- [33] Chen, C.C., Zhang, Q., - Applying quality function deployment techniques in lead production project selection and assignment. Adv. Mater. Res. 945, 2954–2959 – 2014.
- [34] Jiang, Z., Fan, Z., Sutherland, J.W., Zhang, H., Zhang,X., - Development of an optimal method for remanufacturing process plan selection. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 72 (9-12), 1551–1558. – 2014.
- [35] Mohanty, R.P., Agarwal, R., Choudhury, A.K., Tiwari, M.K. - A fuzzy ANP-based approach to R&D project selection: a case study. Int. J. Prod. Res. 43 (24), 5199–5216. – 2005.
- [36] Celik, M., Cebi, S., Kahraman, C., Er, D. – An integrated fuzzy QFD model proposal on routing of shipping investment decisions in crude oil tanker market. Expert Syst. Appl. 36 (3), 6227–6235. – 2009.
- [37] Suiran Yu, Qingyan Yang, Jing Tao, Xun Xu – Incorporating Quality Function Deployment with modularity for the end-of-life of a product family – Universidad de Shanghai Jiao Tong - China, Universidad de Auckland – Nueva Zelanda – 2013.
- [38] Chien, T.K., Su, C.T. – Using the QFD concept to resolve customer satisfaction strategy decisions. Int. J. Qual. Reliab. Manag. 20 (3), 345–359. – 2003.
- [39] Griffin, A., Hauser, J.R. – The voice of the customer. Market. Sci. 12 (1), 1–27. – 1993.

- [40] Herrmann, A., Huber, F., Braunstein, C., - Market-driven product and service design: bridging the gap between customer needs, quality management, and customer satisfaction. *Int. J. Prod. Econ.* 66 (1), 77–96. – 2000.
- [41] Karsak, E.E., Sozer, S., Alptekin, S.E. – Product planning in quality function deployment using a combined analytic network process and goal programming approach. *Comput. Ind. Eng.* 44 (1), 171–190. – 2003.
- [42] Liu, Y., Zhou, J., Chen, Y. – Using fuzzy non-linear regression to identify the compensation level among customer requirements in QFD. *Neurocomputing* 142 (1), 115–124. – 2014.
- [43] Zhong, S., Zhou, J., Chen, Y. – Determination of target values of engineering characteristics in QFD using a fuzzy chance-constrained modelling approach. *Neurocomputing* 142 (1), 125–135. – 2014.
- [44] Chen, Y., Fung, R.Y.K., Tang, J. – Fuzzy expected value modelling approach for determining target values of engineering characteristics in QFD. *Int. J. Prod. Res.* 43 (17), 3583–3604. – 2005.
- [45] Ko, W.C., Chen, L.H. – An approach of new product planning using quality function deployment and fuzzy linear programming model. *Int. J. Prod. Res.* 52 (6), 1728–1743. – 2014.
- [46] Kwong, C.K., Chen, Y., Chan, K.Y. – A methodology of integrating marketing with engineering for defining design specifications of new products. *J. Eng. Des.* 22 (3), 201–213. – 2011.
- [47] Garvin, D. A. – *Managing Quality* – Free Press – New York – 1988.
- [48] Alba, F. – *Aplicación del QFD al Diseño de Sistema de Dosificación Automática de Aditivos Comprimidos* – Universidad de la La Rioja – 2002.
- [49] Capuz, S. – *Introducción al proyecto de producción. Ingeniería Concurrente para el diseño de producto* – Servicio de publicaciones UPV – Valencia - 1999.
- [50] Boylan, G. L. & Cho, B. R. – Comparative Studies on the high-variability embedded robust parameter design from the perspective of estimators. *Computers and Industrial Engineering*, 64(1), 442-452 – 2013.
- [51] Chang, T. R., Wang, C. S., & Wang, C. C. – A systematic approach for green design in modular product development – *International Journal of Advanced* – 2013.
- [52] Naranje, V., & Kumar, S. – A knowledge based system for automated design of deep drawing die for axisymmetric part. *Expert System with Applications*, 41, 1419-1431 – 2014.
- [53] Alve, N. M. F., & Bártolo, P. J. S. – Automatic 3D shape recovery for rapid prototyping. – *Virtual and Physical Prototyping*, 3(2), 123-137 - 2008.
- [54] Kimura, F. – It support for product and process development in Japan and future perspective.- *Digital product and process development System*, 411, 11-23 – 2013.
- [55] Ore, F. Wiktorsson, M., Hanson L. & Eriksson, Y. – *Enabling manufacturing competitiveness and economic sustainability* – Springer International Publishing, 111-116 – 2014.
- [56] Smals, R, G, M., & Smits, A. A. J., – Value for value – the dynamics of supplier value in collaborative new product development, *Industrial Marketing Management* 41, 156 – 165 - 2012.
- [57] Chen, C. Y., Chen, L. C., & Lin, L. – Methods for processing and prioritizing customer demands in variant product design – *IIE Transactions*, 36, 203-219 – 2004.
- [58] Graner, M., & Mibler-Behr, M. – Key determinants of the successful adoption of new product development method. – *European Journal of innovation Management* 16(3), 301 – 316 – 2013.

- [59] Selim Zaim, Mehmet Sevkli, Hatice Camgoz-Akdag, Omer F. Demirel, A. Yesim Yayla, Dursun Delen – Use of ANP weighted crisp and fuzzy CFD for product development / Expert Systems with Applications – Universidad técnica de Esambul - Turkia – 2014
- [60] Kourtoglou Dimitrios, Kourtoglou Ionnis – Method and device for producing packing containers from plastics, packing machine and packing container / Espacenet - Grecia- 1998
- [61] Gandon, Bernard Claude, Dunan, Alain Roger – Procedimiento e instalación para el termoformado de recipientes / Erca / Invenes – Francia – 2013.
- [62] Cooper Timothy, Moreau Frédéric, Schwab Dominique – Procedimiento y dispositivo de fabricación de recipientes mediante termoformado / Erca / Invenes – Francia – 2014.
- [63] Torterotot Roland – Recipiente termoplástico troncocónico o piramidal / Invenes – Francia – 1984.
- [64] Bartoli Andrea, Bartoli Alberto – Recipiente, método y aparato para envasar productos / Sarong S.P.A. / Invenes – Italia – 2013.
- [65] Luc, Michel Maurice – Procedimiento e instalación de termoformado / Erca / Invenes – Francia – 2015.
- [66] Luc, Michel – Dispositivo para el termoformado de objetos que tienen una pestaña como base / Erca / Invenes – Francia – 2008.
- [67] Theno Jacques – Thermoforming method and device, in particular for making a container / Espacenet – Francia – 1999.
- [68] Merbach Juergen, Dieckmann Hauke, Kraut Michael – Method for producing thermoformed articles as well as a die for the production thereof / RPC Bebo Plastik / Espacenet – Alemania – 2009.
- [69] Becquart Patrick, Geay Jean-Michel – Recipiente termoformado de material plástico, por ejemplo para producto alimenticio, y aparato de fabricación / Arcil / Invenes – Francia – 2003.
- [70] Blin Christophe, Percy Jean-Luc – Envase distribuidor alimentario con un recipiente exterior autoportante y un recipiente interior deformable / Danone / Invenes – Bélgica – 2004.
- [71] Robache Patrick – Device and installation for forming and closing trays / Mecaplastic / Espacenet – Francia – 1991.
- [72] Booz, Allen & Hamilton – Earned Value Management Tutorial Module 2: Work Breakdown Structure – Science Energy Gov. EEUU – 2011.
- [73] Fernando Alba, Álvaro Guerra Sanches de la Nieta, Jesús Las Heras Casa, Ana González Marcos, Javier Alfonso Cendón y Manuel Castejón Limas – A New Device For Dosing Additives In The Food Industry Using Quality Function Deployment – University of La Rioja, University of León Spain – 2014.
- [74] Jaqueline de Fátima Cardoso, Nelson Casarotto Filho y Paulo Augusto Cauchick Miguel – Application of Quality Function Deployment for the development of an organic product – University of Santa Catarina – Brasil – 2014.
- [75] Björn Falk, Robert Schmitt – Sensory QFD: Matching Sensation with Measurement – University of Aachen – Germany – 2014.
- [76] Moss C. Der Beitrag von Fertigungsstrategien zur Marktorientierung industrieller Unternehmen. Eine empirische Analyse im Rahmen des Projektes “International Manufacturing Strategy Survey” Mannheim Doctoral Thesis - German – 2006.
- [77] Fanglan Zhang, Minglang Yand y Weidong Liu – Using integrated quality function deployment and theory of innovation problem solving approach for

- ergonomic product desing - University of Qinhuangdao, University of Nanchang – China – 2014.
- [78] Yuanyuan Liu, Yizeng Chen, Jian Zhou y Shuya Zhong – Fuzzy Lineal regression models for QFD using optimized “h” values – University of Shanghai – China – 2014.
 - [79] Maribel Johana Rodriguez Castillo - Sistema de inferencia difusa de Mandani – Fundación Universitaria Konrand Lorenz Colombia – 2005.
 - [80] Chunhua Dua, Shaoke Chenb, Xiaoming Lianga – Application of Fuzzy Theory in Temperature Control System of Thermoforming Machine – University of Guangdong China – 2011.
 - [81] Rosa A. Morales, María V. Candal, Orlando O. Santana, Antonio Gordillo, Rubén Salazar – Effect of the thermoforming process variables on the sheet friction coefficient – University of Simón Bolivar – Venezuela – 2013.
 - [82] Ertugrul Selcuk Erdogan, Olcay Eksi – Prediction of wall thickness distribution in simple thermoforming moulds – University of Trakya – Tuquía – 2014.
 - [83] Eder W.E. – EDC Engineering Design and Creativity – Proceedings of the Workshop – 1996.
 - [84] Joaquim Lloveras – Creatividad en el diseño conceptual de ingeniería de producto – Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona – España – 2007.

10.- ÍNDICE DE FIGURAS.-

Fig. 1.1: Timeline of Thermoforming Events.

Fig. 1.2: Tipos de productos a envasar en envases termoformados.

Fig. 1.3: Envases termoformados para productos médicos.

Fig. 1.4: Envases termoformados para productos NO alimentarios.

Fig. 1.5: Envases para productos alimentarios.

Fig. 1.6: Thermoforming process.

Fig. 1.7: Forming Characteristics of Generic Polymers.

Fig. 1.8: (a) Criterios básicos para el diseño de envases termoformados (b) Proporción de medidas en el diseño de envases (c) Proporción de medidas en diseño de envase en relación a la geometría.

Fig. 1.9: Geometrías de envases termoformados, para uso alimentario, mas utilizados

Fig. 1.10: (a) Termoformado por adaptación. (b) Estación y método de termoformado con un sistema de enfriamiento rápido para los artículos termoformados.

Fig. 1.11: (a) Termoformado por vacío. (b) Envase para empaquetado en atmósfera modificada.

Fig. 1.12: (a) Termoformado a presión. (b) Method for parking moldable product and packed article thereof.

Fig. 1.13: Libre soplado.

Fig. 1.14: (a) Molde y contramolde. (b) Method for thermoforming an internally braced dual-wall panel

Fig. 1.15: (a) Estirado de burbuja. (b) Method and device for a tight packing under a thermoplastic and thermoformable film of products requiring an absolute protection.

Fig. 1.16: (a) Vacío con respaldo. (b) Recipiente perfilado termoformado de película flexible para productos granulares, y método y aparato para fabricarlo

Fig. 1.17: (a) Vacío con burbuja. (b) Machine for packaging, under vacuum, food products or other products in packing trays

Fig. 1.18: (a) Vacío asistido con pistón. (b) Device and installation for forming and closing trays.

Fig. 1.19: (a) Presión asistida con pistón. (b) Thermoforming method and device, in particular for making a container.

Fig. 1.20: (a) Presión asistida con pistón – estirado inverso. (b) Multi-layer container blow molding.

Fig. 1.21: (a) Vacío con burbuja asistido por pistón. (b) Apparatus for and method of thermoforming plastic cans.

Fig. 1.22: (a) Termoformado por lámina apoyada. (b) Process for packing and preserving products which are perishable in the atmosphere, the relative apparatus and the package obtained

Fig. 1.23 (a) Línea de cierre de molde en envase termoformado con apertura de molde (b) Línea de cierre de molde (IV) en envase termoformado con apertura de molde.

Fig. 1.24: (a) Envase termoformado para envasado de yogur. (b) Envase termoformado para envasado de flan – 125gr. (c) Envase termoformado para envasado de gelatina. (d) Envase termoformado tipo Combi (e) Envase termoformado para envasado de flan – 400gr. (f) Envase termoformado para envasado de natillas.

Fig. 1.25: Envase termoformado “Tornado”.

Fig. 1.26: Variaciones geométricas del envase “Tornado”.

Fig. 2.1: Cuadro resumen de algunos de los fabricantes más importantes de máquinas termoformadoras en America del Sur, Europa y Asia.

Fig. 2.2: (a) Variación de geometría de envase. (b) (c) Prototipos para termoformado de envases y posterior industrialización. (d) Diseño de envases en función a producto a envasar.

Fig. 2.3: Propuesta de sistema de termoformado de envases especiales con apertura lateral de molde.

Fig. 3.1 (a) Envase termoformado de geometría especial. (b) Sistema mecánico de termoformado con apertura de molde. (c) Proceso de termoformado con apertura de molde.

Fig. 3.2 Sistema de termoformado con apertura de molde.

Fig. 3.3 Sistema de termoformado con apertura de molde.

Fig. 3.4 Sistema de termoformado a molde abierto de apertura parcial.

Fig. 3.5 (a) Apertura parcial de molde con desplazamiento vertical del fondo del molde. (b) Sistema de termoformado con desplazamiento vertical del fondo del envase. (c) Sistema de termoformado con desplazamiento vertical del fondo del envase.

Fig. 3.6 (a) Envase con lengüeta “rompe fácil” (20) para facilitar el consumo del producto. (b) Envase con cavidad autoportante y cavidad deformable, para facilitar el consumo del producto.

Fig. 3.7 (a) Estación de termoformado de disposición inclinada. (b) Envase termoformado de geometría especial.

Fig. 3.8 Estructura de la calidad percibida.

Fig. 3.9 Un modelo de integración para el diseño de un producto ergonómico.

Fig. 5.1 Estructura de la Descomposición del Proyecto (Documento anexo).

Fig. 5.2 Fases del Proyecto (Documento anexo).

Fig. 5.3 Diagrama de Gantt del proyecto (Documento anexo).

Fig. 5.4 Alternativas de producto.

Fig. 5.5 Alternativa 1: (a) Subconjunto giro mecánico. (b) Partes del subconjunto. (c) Explosión subconjunto motor giro mecánico. (d) Explosión subconjunto eje giro mecánico.

Fig. 5.6 Alternativa 1: Estación de termoformado con sistema mecánico incorporado.

Fig. 5.7 Alternativa 2: (a) Subconjunto giro servo-asistido. (b) Explosión subconjunto.

Fig. 5.8: Alternativa 2: Estación de termoformado con sistema servo-asistido incorporado.

Fig. 5.9: Alternativa 3: (a) Subconjunto giro neumático. (b) Explosión subconjunto.

- Fig. 5.10: Alternativa 3: Estación de termoformado con sistema de giro neumático incorporado.
- Fig. 6.1: Esfuerzos creativos extremos en función de objetivos y especificaciones.
- Fig. 6.2: Bases para el diseño conceptual a partir de las características críticas identificadas en el QFD.
- Fig. 6.3: Partes de una estación de precalentamiento.
- Fig. 6.4: Capas que forman el Film o material de fondo.
- Fig. 6.5: Variables que intervienen en el proceso de precalentamiento.
- Fig. 6.6: Propuesta de diseño para la característica crítica 1 y especificaciones secundarias de la estación de precalentamiento.
- Fig. 6.7: Fases del proceso de termoformado.
- Fig. 6.8: Partes del grupo de elevación de la estación de termoformado.
- Fig. 6.9: Propuesta de diseño para la característica crítica 2 y especificaciones secundarias del grupo de elevación de estación de termoformado.
- Fig. 6.10: Partes del sistema de pistonaje.
- Fig. 6.11: Etapas de sistema de molde y termoformado.
- Fig. 6.12: Propuesta de diseño para la característica crítica 3 y especificaciones secundarias del sistema de pistonaje, molde y termoformado.
- Fig. 6.13: Imagen térmica de placa de precalentamiento.
- Fig. 6.14: Tipo modular de controlador de temperatura y sistema de comunicación.
- Fig. 6.15: Diseño de estación de precalentamiento: separación de placas y recubrimiento de teflón.
- Fig. 6.16: Diseño de estación de precalentamiento según las exigencias de la característica crítica 1 y especificaciones secundarias.
- Fig. 6.17: (a) Control de desplazamiento neumático mediante reguladores de caudal y escapes rápidos. (b) Estabilización de presión de aire mediante tanque pulmón.
- Fig. 6.18: Curvas de secuencia de inicio y final de estación de termoformado.
- Fig. 6.19: Ubicación de detector de posición de estación de termoformado.
- Fig. 6.20: Diseño de estación de molde, pistonaje y termoformado según las exigencias de la característica crítica 3 y especificaciones secundarias.
- Fig. 6.21: Detalles técnicos de cilindro neumático rotatorio.
- Fig. 6.22: Vista en detalle del sistema de termoformado mediante giro de molde.
- Fig. 6.23: Termoformado mediante giro de molde.
- Fig. 6.24: Incorporación de detectores inductivos de posición en el cilindro neumático de la estación de pistonaje.
- Fig. 6.25: Incorporación de sensor de presión en la campana de termoformado para confirmar la correcta presión de aire en el proceso de termoformado.
- Fig. 6.26: Circuito de refrigeración por agua de molde de termoformado.

- Fig. 6.27: Diseño de estación de molde, pistonaje y termoformado según las exigencias de la característica crítica 3 y especificaciones secundarias.
- Fig. 6.28: Bastidor de máquina.
- Fig. 6.29: Estación de tracción de film.
- Fig. 6.30: Programa de autómeta.
- Fig. 6.31: (a) Pantalla principal. (b) Pantalla de botones y selectores. (c) Pantalla de tiempos internos de precalentamiento. (d) Pantalla de tiempos internos termoformado. (e) Pantalla de tipos de formado.
- Fig. 6.32: Máquina prototipo de termoformado.
- Fig. 6.33: Bastidor de máquina.
- Fig. 6.34: Tracción de Film.
- Fig. 6.35: Estación de precalentamiento.
- Fig. 6.36: Estación de termoformado.
- Fig. 6.37: Cuadro eléctrico de máquina.
- Fig. 6.38: Circuito neumático de máquina.
- Fig. 6.39: Automatismo de máquina.
- Fig. 6.40: Montaje de sistema de tracción de film.
- Fig. 6.41: Montaje de estación de precalentamiento.
- Fig. 6.42: Montaje de estación de Termoformado.
- Fig. 6.43: Montaje de máquina.
- Fig. 6.44: Puesta a punto estación de avance de film.
- Fig. 6.45: Puesta a punto estación de precalentamiento.
- Fig. 6.46: Puesta a punto estación de termoformado.
- Fig. 6.47: Pruebas de precalentamiento.
- Fig. 6.48: Pistonaje en el proceso de termoformado.
- Fig. 6.49: Desmoldeo de termoformado.
- Fig. 6.50: Obtención de envase termoformado.
- Fig. 6.51: Resultado de envase termoformado.
- Fig. 6.52: Parámetros de termoformado.
- Fig. 8.1: Diagrama de flujo de la Teoría de control Fuzzy PID Auto-adaptativa.
- Fig. 8.2: Simulación del proceso de termoformado asistido por pistón
- Fig. 8.3: Evolución de espesor de la pared de envase.
- Fig. 8.4: Distribución del espesor del material en el envase termoformado.
- Fig. 8.5: Comprobación visual del espesor del material en envase termoformado. (a) Envase cilíndrico. (b) Envase cónico. (c) Envase cúbico.

11.- ÍNDICE DE TABLAS.-

Tabla 5.1.-	Requerimientos del cliente.....	56
Tabla 5.2.-	Evaluación de la competencia.....	61
Tabla 5.3.-	Factores de mejora.....	62
Tabla 5.4.-	Características técnicas.....	65
Tabla 5.5.-	Interrelación requerimientos del cliente / características técnicas.....	66
Tabla 5.6.-	Detalles de evaluación técnica de los competidores.....	68
Tabla 5.7.-	Evaluación técnica de los competidores.....	69
Tabla 5.8.-	Metas preliminares.....	70
Tabla 5.9.-	Interacciones entre las características técnicas.....	71
Tabla 5.10.-	Factor de importancia normalizada.....	72
Tabla 5.11.-	Selección de la mejor alternativa.....	84
Tabla 5.12.-	Análisis y selección de alternativa.....	85
Tabla 5.13.-	Requerimientos de las partes del producto.....	88
Tabla 5.14.-	Características técnicas de la alternativa seleccionada.....	90
Tabla 5.15.-	Interrelación características técnicas / requerimientos subsistemas.....	91
Tabla 5.16.-	Valores objetivo preliminares.....	92
Tabla 5.17.-	Interrelación entre las características técnicas.....	93
Tabla 5.18.-	Factores de importancia normalizados.....	94