



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

“Desarrollo de sistemas de desmoldeo para el proceso de termoformado”

# **TITULACIÓN POR TRABAJO PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERO MECÁNICO**

**PRESENTA:**

**LUIS ARTURO RAMOS VARGAS**

**DIRECTOR:**

**Dr. ADRIÁN ESPINOSA BAUTISTA**

## **AGRADECIMIENTOS**

**ALE:** Por aguantar mis enojos, por escucharme sin que yo diga palabra alguna, por empaparme con sus lágrimas en los momentos de alegrías y tristezas, por sus abrazos y caricias, gracias por mantenerme vivo.

**HANNA:** Hija, tú me das la fortaleza día con día, me das las ganas de seguir esforzándome, de vivir, de reír, de jugar, de amar, de soñar.

**MIS PAPÀS:** Ustedes me enseñaron lo que ahora soy. Gracias por aguantar mis caprichos, las desveladas, por estar ahí para escucharme y darme consejos; por darme la vida

**CLAU Y ANA:** Dicen que los hermanos no se escogen, los da Dios. Les confieso que si algún día me dieran a escoger las escogería a ustedes hermanas y si no me las dieran, las buscaría por todo el universo.

Gracias cuñado, que sería sin tus excelentes recomendaciones de libros, música y películas. Me diste unos sobrinos maravillosos.

**MIS SUEGROS:** Por todo el apoyo y confianza que me tuvieron desde que los conocí. Gracias por preocuparse por mí.

Cuñadas, por todo lo que hemos pasado juntos estos 11 años.

## ÍNDICE

La Empresa	.....	4
Descripción del puesto	.....	5
Objetivos	.....	6
Introducción	.....	7
Antecedentes	.....	8
Metas	.....	11
Capítulo 1	.....	12
Capítulo 2	.....	24
Conclusiones	.....	32
Bibliografía	.....	33

## LA EMPRESA

La compañía es fundada en 1986 por un Ingeniero egresado de la UNAM. Su principal actividad era elaborar galletas y distribuirlas en tiendas y pastelerías. Comenzó con galletas de pocos tamaños y sabores, las ventas incrementaron al cabo de un año. Para el segundo año ya contaba con una gran variedad de productos.

Para su distribución las galletas eran colocadas en empaques de plástico flexible (bolsas). En su destino final las galletas llegaban maltratadas. Por tal motivo, adquirió empaques de plástico rígidos y así evitó que las galletas se rompieran.

La venta continuó por seis años más hasta que observó la necesidad de elaborar sus propios empaques debido a la gran diversidad de sus productos. Elaboró diseños innovadores, compró máquinas y moldes para sus productos; así continuó por dos años más.

Al poco tiempo empezó a vender los empaques de plástico que producía. En menos de un año dejó atrás la producción de galletas y comenzó con la venta de empaques de plástico rígido para galletas.

Fue tan grande el éxito que comenzó a elaborar empaques para pasteles. Hasta este momento todos los moldes para producir los empaques se compraban en Canadá.

Fue en 1998 cuando decide fundar un departamento para el diseño y fabricación de los moldes. Con este departamento se comenzó el diseño de empaques para comida preparada, botanas, dulces, etc., posteriormente el diseño del molde y la fabricación de este.

El departamento contacta empresas dedicadas al termoformado en Alemania y Estados Unidos. En conjunto diseñan nuevos productos y fabrican los moldes.

La empresa continúa creciendo y decide comprar líneas de extrusión de plástico. Con esta adquisición la empresa es capaz de producir su propio termoplástico, es decir bobinas al tamaño requerido, material y color para los distintos empaques producidos.

### ***DESCRIPCIÓN DEL PUESTO***

Mi puesto en la empresa es diseñador de moldes. Mis actividades de las primeras semanas consistieron en leer manuales de las máquinas con los que cuenta la empresa. Estos manuales contienen información básica para el diseño y construcción de moldes.

Al término de la lectura mi segunda actividad como diseñador consistió en buscar información de cavidades, piezas y moldes elaborados en AutoCad y dibujarlas en SolidWorks. Con esto, entendí el diseño de moldes para termoformado además de aprender a dibujar en el programa.

Las piezas y cavidades dañadas de los moldes son enviadas al departamento para su reparación o fabricación. La mayor parte de estos elementos y piezas no tienen planos, ya que son moldes obtenidos en el extranjero, debido a esto medí las piezas y elementos que llegaban y elaboré planos de fabricación y en su caso de ensamble.

Al cabo de cuatro meses comencé a diseñar moldes pequeños y sistemas de desmoldeo. Actualmente elaboro el diseño de detalle de los moldes para casi todas las máquinas de la empresa.

El área está dividida principalmente en tres secciones:

- Diseño de producto: es el área encargada de crear un prototipo virtual del empaque, convirtiendo las especificaciones del cliente en especificaciones técnicas para el producto.
- Diseño de moldes: área encargada de elaborar el diseño de detalle del molde.
- Manufactura: se encarga de la fabricación y reparación de los moldes.

## **OBJETIVOS**

La titulación mediante trabajo profesional permite a los alumnos describir sus actividades de una forma distinta a los reportes de prácticas y servicio social, por mencionar los más formales. El siguiente paso de los reportes elaborados en el aula es, además del reporte escrito, demostrar y convencer a los integrantes del equipo o personas que están directamente relacionadas con nuestros diseños de que se tomaron las mejores decisiones en el proceso debido al amplio conocimiento del tema y criterio para la toma de decisiones. Por ello los objetivos de éste trabajo son los siguientes:

- Reportar el proceso mediante el cuál se obtuvo el diseño de un sistema de desmoldeo para un empaque difícil de expulsar.
- Reportar como se rediseñó un sistema de desmoldeo ya considerado como el mejor en su tipo.

## **INTRODUCCIÓN**

Existe una gran cantidad de piezas que son elaboradas de plástico. Estas piezas pueden tomar formas sencillas o complejas dependiendo de la necesidad.

En el proceso de transformación de plástico mediante moldes (termoformado, inyección, soplado, por mencionar algunos) es necesario expulsar las piezas del molde con algún medio mecánico, neumático, etc., debido a la forma de la pieza. Dado el problema anterior se han diseñado infinidad de “sistemas de desmoldeo”.

En los siguientes capítulos menciono la forma de optimizar sistemas de desmoldeo para el termoformado de productos.

El primer capítulo expone la necesidad de cambiar el sistema, ya que en los sistemas actuales el mecanismo deja marca en el producto, dando como resultado mal aspecto en el empaque. También se requiere expulsar piezas de mayor complejidad debido a los nuevos diseños de empaques.

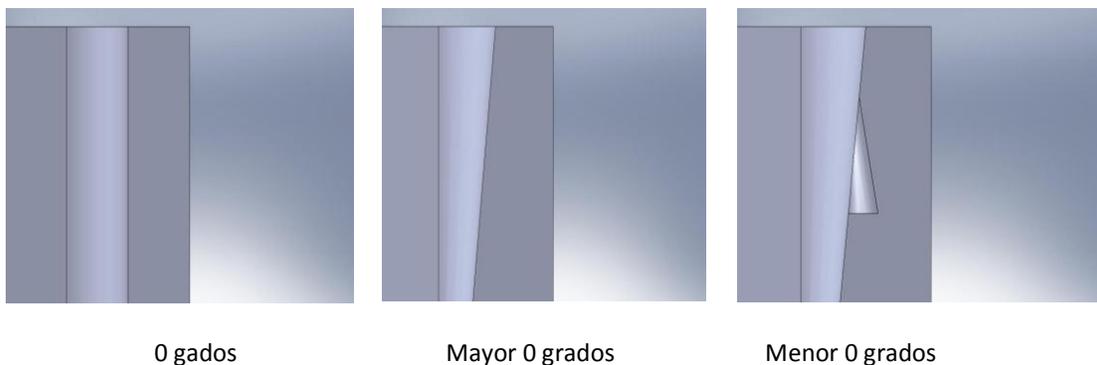
En el segundo capítulo muestro un sistema muy eficaz para el proceso, el principal problema fue el espacio. Menciono la forma de elaborar el rediseño del sistema original para un molde en particular.

## ANTECEDENTES

Todos los productos de plástico son diseñados para expulsarlos del molde sin necesidad de un sistema. Esto se logra considerando en el producto ángulos de salida, también llamados “ángulos de desmoldeo”. El diseño de productos se adapta de acuerdo a la necesidad del cliente y esto ha conducido a diversas geometrías que disminuyen o carecen de dicho ángulo.

En el termoformado de productos, en especial los empaques para comida, es necesario considerar un “sistema de cierre” principalmente para evitar que los líquidos se derramen o la comida se enfríe. Los sistemas de cierre son ángulos negativos de desmoldeo, es decir, menores de cero grados, teniendo una mayor dificultad para su desmoldeo.

Los “botones” son ángulos negativos que sirven para cerrar un empaque. También existen los “undercut” que son ángulos negativos empleados para estibar los productos. Los sistemas de cierre, botones y undercut son necesarios expulsarlos con facilidad para evitar que el empaque se dañe cuando son extraídos del molde.

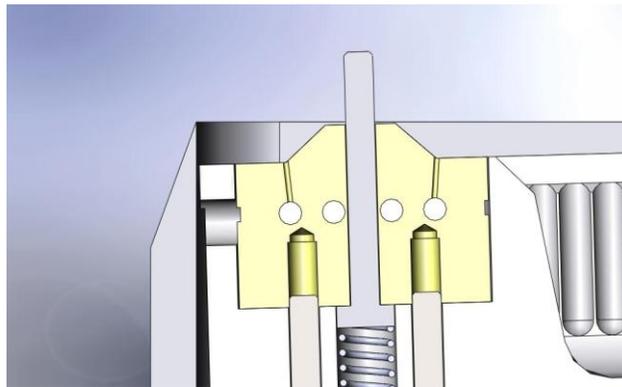


Tres tipos de ángulos en una cavidad

Diversas empresas dedicadas a la elaboración de productos de plástico han desarrollado “sistemas de desmoldeo” acorde a las necesidades de cada empaque.

El sistema de desmoldeo consiste en el conjunto de piezas y elementos ensamblados en el molde con la finalidad de extraer un empaque.

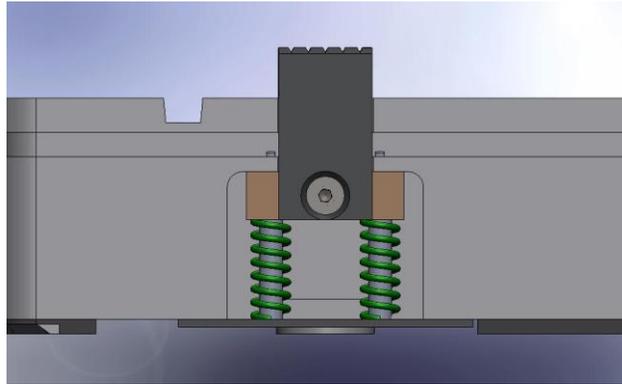
El sistema más común es el mostrado en la siguiente figura. Consiste de un inserto, que en su interior aloja un perno que sirve como expulsor y un resorte que aporta la fuerza necesaria para la extracción del empaque en esa superficie.



Vista de sección de un sistema de desmoldeo para un “botón”

La desventaja de este sistema es que solo funciona para ángulos negativos pequeños. Si los ángulos son demasiado grandes, el empaque no es expulsado. El número de sistemas de desmoldeo dependerá del número de botones colocados en el empaque.

Otro sistema empleado con mucha frecuencia consiste de dos resortes, aportando la fuerza, pernos guía, bloque de sujeción y un fleje que empuja el empaque fuera de la cavidad.



Sistema de desmoldeo utilizado principalmente para “undercuts”

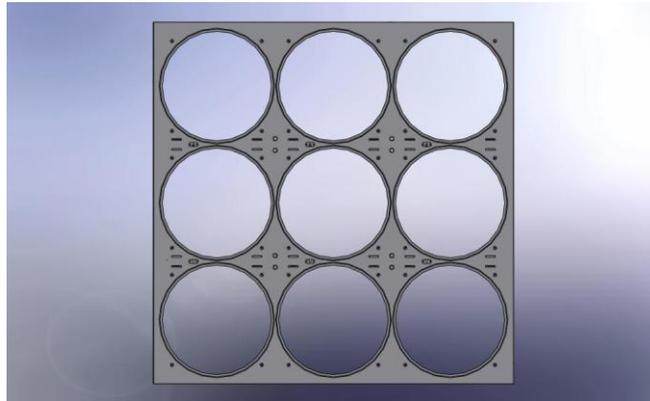
La desventaja del sistema consiste que el fleje queda marcado en el empaque. Como se aprecia en la figura anterior el fleje contiene ranuras en la parte superior que evitan el deslizamiento del plástico para lograr expulsar el empaque con mayor facilidad.

En los sistemas mostrados anteriormente los elementos que sirven para expulsión y que están en contacto con el material a termoformar son presionados por una placa. Como resultado los resortes son comprimidos.

Cuando el plástico se termoforma la máquina se abre dejando a los resortes sin compresión que éstos a su vez empujan los elementos de expulsión.

Cuando el molde es muy grande el número de cavidades aumenta. Esto repercute en el costo debido a la cantidad de sistemas de desmoldeo a fabricar y ajustar. Debido a esto se diseñó un sistema muy eficaz para extraer todos los productos. El diseño disminuyó considerablemente el costo y fabricación de los sistemas.

El sistema consiste en una placa que está en contacto con el material termoplástico. Esta placa ocupa toda el área del molde, con excepción de las cavidades. Cuando el molde abre la placa expulsa todos los empaques de las cavidades.



Sistema de desmoldeo para moldes de mayor producción

La creciente necesidad de expulsar ángulos negativos más grandes, la limpieza en los empaques y la expulsión masiva fue el inicio de un proyecto que menciono en los capítulos siguientes.

## ***METAS***

- 1- Diseñar un sistema de desmoldeo capaz de expulsar ángulos negativos mayores y eliminar marcas de los componentes en los empaques.
- 2- Optimizar el sistema de desmoldeo empleado en moldes de mayor producción.

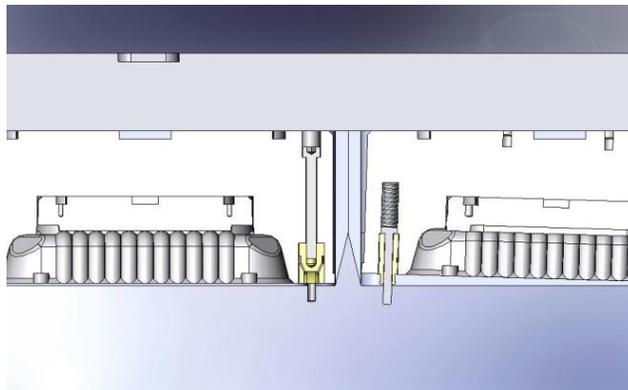
## CAPÍTULO 1

Para cumplir con la primera meta es de gran utilidad describir las fases de la máquina y los componentes de un molde para determinar el mejor sistema de desmoldeo para los empaques.

Este tipo de moldes, considerado de los más sencillos, consiste de una placa de acero llamada placa de montaje, dados de corte y cavidades. La cara superior de la placa de montaje está en contacto con la máquina y se sujeta mediante tornillos.

En la cara inferior se colocan los dados de corte. El dado de corte consiste en una solera que puede tomar casi cualquier forma, considerando el perímetro del empaque; la altura dependerá de los sistemas empleados para desmoldeo y altura del empaque.

Dentro del dado de corte se coloca la cavidad misma que contiene la forma del empaque. Es en la cavidad donde se montan los sistemas de desmoldeo de acuerdo a las necesidades de dicho empaque.

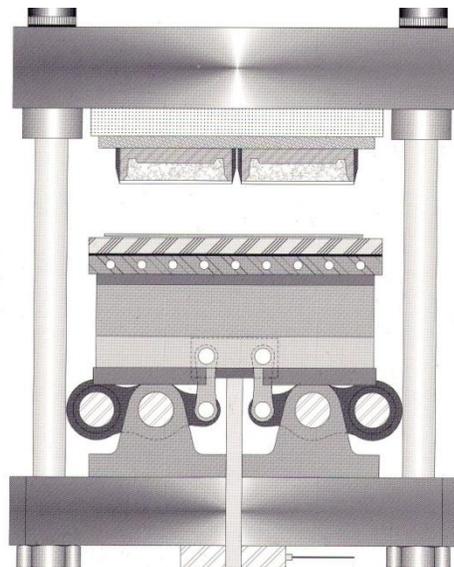


En el corte se muestra un molde completo. En la parte superior se aprecia la placa de montaje, cavidades y dados de corte. Dentro de las cavidades se encuentran dos sistemas de desmoldeo para botones.

Antes de dar una solución al problema describo sin detalle, por cuestiones de confidencialidad de la empresa, la secuencia de la máquina y el funcionamiento del sistema de desmoldeo.

La máquina, en la parte inferior, contiene una placa llamada “placa de corte” en la cual se calienta y corta el material. La placa de corte contiene pequeños orificios por donde sale aire llamado “aire de formado”. Éste aire empuja el plástico dentro de la cavidad. Esta parte de la máquina tiene un movimiento vertical dado por el sistema mostrado en la siguiente figura.

En la parte superior de la máquina se monta el molde en la platina. Cuando comienza el ciclo se cierran ambas partes. En este paso comienza el funcionamiento del sistema de desmoldeo.



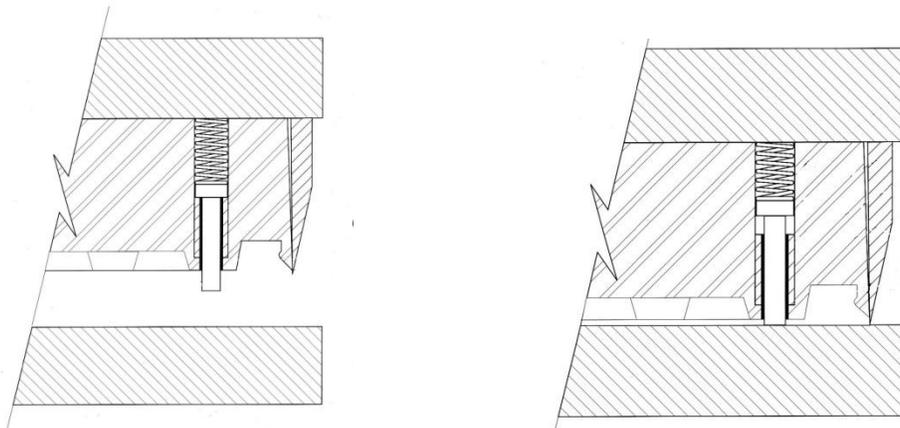
Se muestra un dibujo representativo de la máquina y su mecanismo para el cierre. En la parte superior se encuentra montado un molde y en la inferior se encuentra la placa de corte y el plástico.

El fleje es el primero en entrar en contacto con el plástico y éste, a su vez, con la placa de corte. El bloque de sujeción se desliza sobre los pernos al mismo tiempo que comprime los resortes.

El siguiente paso consiste en el formado del plástico cuando éste ingresa a una temperatura elevada en la cavidad del molde y copia la forma de la superficie de la cavidad, por lo tanto también se forma la cara del fleje empleado para la expulsión del empaque.

Continuando con la secuencia, la máquina abre la estación; los resortes que se encontraban en compresión son liberados. El fleje empuja el empaque, que está a una temperatura menor debido al enfriamiento del molde, las ranuras elaboradas en el fleje ayudan a evitar el deslizamiento del material y toda la fuerza de los resortes es empleada para expulsar el empaque. En este paso termina el funcionamiento del sistema de desmoldeo.

Si los resortes tiene poca fuerza el empaque no es expulsado, demasiada fuerza el daño es considerable.



Los cortes muestran el molde abierto y cerrado. Se observa el funcionamiento del sistema de desmoldeo.

Los principales problemas, como ya se habían mencionado son los siguientes:

- 1- Marcas en el empaque.
- 2- Los sistemas solo funcionan con ángulos negativos pequeños.

Para eliminar las marcas en los empaques, es necesario que los flejes no contengan las ranuras, al eliminar las ranuras del empaque el plástico se desliza sobre el fleje provocando que no expulse correctamente el empaque.

Si necesito expulsar empaques con mayor ángulo negativo pensé en elaborar un fleje más grande o colocar más sistemas de desmoldeo para un solo ángulo negativo.

Para lograr el diseño de un sistema adecuado para la expulsión del empaque es de gran utilidad conocer las limitantes y ventajas no solo del sistema de desmoldeo sino también del proceso de la transformación del termoplástico.

Ventajas para la solución solo de éste problema.

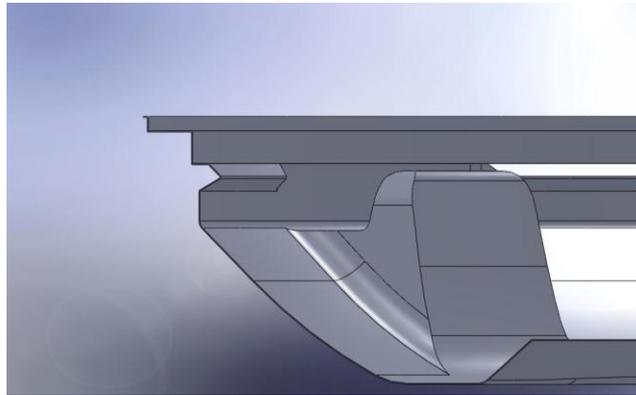
Ventajas:

- El material es muy flexible debido a la temperatura en esta parte del ciclo.
- Antes de abrir la estación, existe un ciclo en la máquina llamado “aire de expulsión” que es liberado en la parte superior. El aire fluye por los canales de la placa de montaje y sale por pequeños barrenos en la superficie de la cavidad del molde ayudando a empujar el empaque.
- El material se encuentra fijo en la entrada y salida del molde durante el termoformado.

Desventaja:

- El espacio lateral es reducido, si incremento la longitud de la cavidad en esa dirección el desperdicio del termoplástico aumenta considerablemente.

El producto termoformado consiste en una tapa. Se puede observar el negativo en la parte superior de la siguiente figura.



La imagen muestra la zona de estudio de un empaque. En la parte superior se aprecia el sistema de cierre (undercut)

Para la solución de este problema describo a grandes rasgos los sistemas de desmoldeo en moldes de inyección de plástico.

Las piezas en este tipo de moldes se extraen con “botadores” expulsando la pieza de la forma más sencilla y son puestos en varios puntos ya que, en su mayoría, son circulares. Los mecanismos trabajan de forma independiente. Cada “botador” contiene un perno y un resorte.

La analogía para un sistema de desmoldeo en productos termoformados consiste en lo siguiente:

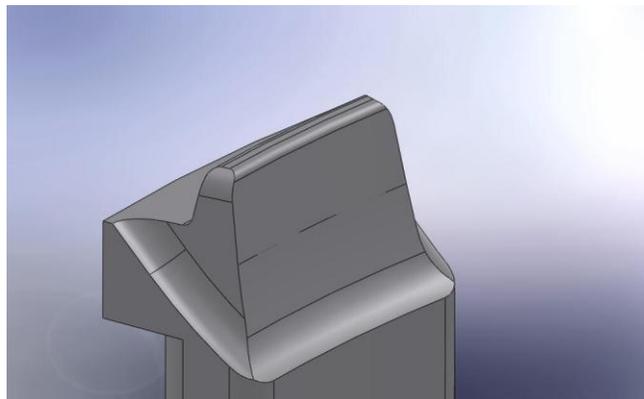
Los “botadores” contienen una mayor superficie de contacto con la pieza. Al aumentar la superficie de contacto entre el fleje y el plástico, tanto que llegue a ser parte de la superficie de la cavidad considerando la geometría del producto evito colocar ranuras en los flejes. Esta idea eliminó el problema de las marcas en el empaque.

Si empujo el empaque con una superficie mayor evidentemente la expulsaré pero si los ángulos negativos son mayores necesito más área. El problema sigue creciendo sin una solución concreta. Debido a que el empaque es flexible ayuda pero no resuelve el problema.

El empaque al estar en contacto con la superficie de la cavidad adquiere estructura, aún con temperatura elevada en el plástico y esto dificulta su expulsión.

Para eliminar este problema pensé en debilitar la estructura del empaque termoformado ocultando partes del molde, esto con el objetivo de evitar el contacto de la cavidad con el plástico y así lograr debilitar la estructura del empaque. Combinando estas dos ideas obtuve el diseño preliminar del sistema de desmoldeo.

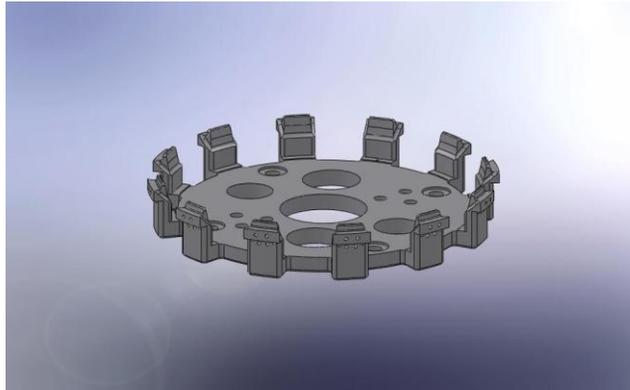
El sistema consiste en elementos que contienen la forma de la cavidad del molde, esto para eliminar las marcas en el producto, estos elementos se mueven, se ocultan en la cavidad, con esto eliminé la estructura del empaque.



En la figura se muestra un elemento del sistema de desmoldeo con la forma de la cavidad

Necesité 12 elementos para el sistema completo. La primera dificultad fue moverlos al mismo tiempo y la segunda la manufactura de los mismos.

Para solucionar esto diseñé una sola pieza que contenga todos los elementos del sistema así, todos se mueven al mismo tiempo. Con esto se redujo el tiempo y costo de manufactura de la pieza.



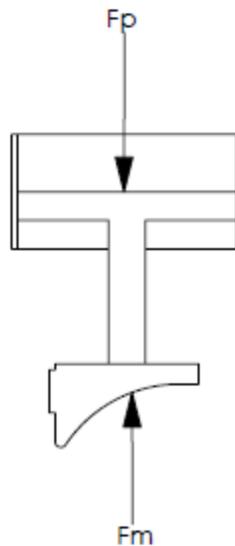
La unión de todos los elementos resulta en una pieza para reducir tiempo y costo de fabricación

Recordando el funcionamiento de la máquina, una parte del ciclo consiste en empujar el material con aire y esto me dió una idea de cómo mover el sistema; por medio de pistones.

El empleo de pistones para realizar el movimiento del sistema de desmoldeo requiere calcular la fuerza ejercida por el aire de formado sobre la superficie del sistema de desmoldeo, ya que el aire de formado sale por pequeños orificios de la placa de corte llevando el plástico a la cavidad del molde y es en ese instante cuando la fuerza de los pistones actúa para evitar que el sistema de desmoldeo se active.

Antes de abrir la estación, unas milésimas de segundo antes de activar el “aire de desmoldeo” entra en funcionamiento el sistema, ocultándose en la cavidad, así lo único que expulsa el empaque es el “aire de desmoldeo” y considerando el tercer punto de las ventajas antes mencionadas el empaque quedará libre de la cavidad.

Para determinar el número de pistones empleados para mover el sistema, calculé las fuerzas en equilibrio involucradas. En el siguiente diagrama de cuerpo libre se muestran las fuerzas y su dirección ejercidas en el sistema.



D.C.L. representativo del pistón y un elemento del sistema de desmoldeo.

Donde:

$F_p$   $\approx$  fuerza del pistón

$F_m$   $\approx$  fuerza del aire de formado

Para que el sistema funcione correctamente es necesario que  $F_p > F_m$  durante el termoformado.

Empleando la definición de la presión sobre un área:  $P = \frac{F}{A}$

Despejando la fuerza:  $F = P * A$

Por lo tanto la fuerza ejercida por el pistón la calculé de la siguiente manera:

$$F_p = P_p * A_p \dots (1)$$

Donde

**$P_p$**  ≈ presión en el pistón = 5 Bar

**$A_p$**  ≈ área del émbolo del pistón = 76.2 mm

Sustituyendo estos valores en (1) la ecuación queda de la siguiente forma:

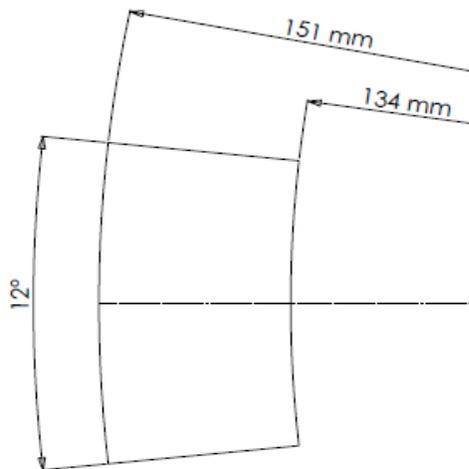
$$F_p = 5 \text{ Bar} \left[ \frac{100\,000 \text{ N/m}^2}{1 \text{ Bar}} \right] * \pi (0.0762 \text{ m})^2 / 4$$

$$\mathbf{F_p = 2\,280.2 \text{ N}}$$

La fuerza del aire de formado la calculé de la siguiente forma:

$$F_m = P_m * A_m \quad \dots (2)$$

**$A_m$**  es el área proyectada de un elemento del sistema de desmoldeo y se calcula como un sector circular.



Área de un sector circular

$$Am = \frac{\theta}{2} * (r_2^2 - r_1^2) \quad \dots \quad (3)$$

Donde

$$\theta = 12^\circ$$

$$r_1 = 0.134 \text{ m}$$

$$r_2 = 0.151 \text{ m}$$

Sustituyendo (3) en (2)

$$Fm = Pm * \frac{\theta}{2} * (r_2^2 - r_1^2)$$

Sustituyendo los valores:

$$Fm = \left\{ 5 \text{ Bar} \left[ \frac{100\,000 \text{ N/m}^2}{1 \text{ Bar}} \right] \right\} * \left\{ 6^\circ \left[ \frac{\pi}{180^\circ} \right] * (0.151^2 - 0.134^2) \right\} * 12$$

El término 12 al final de la ecuación corresponde al número de sistemas empleados de acuerdo a la geometría del empaque.

$$\mathbf{Fm = 3044.2 \text{ N}}$$

Para lograr que las fuerzas estén en equilibrio:

$$Fp * x = Fm$$

$$x = \frac{Fm}{Fp}$$

Sustituyendo los valores obtenidos

$$x = \frac{3044.2 \text{ N}}{2280.2 \text{ N}} = 1.34$$

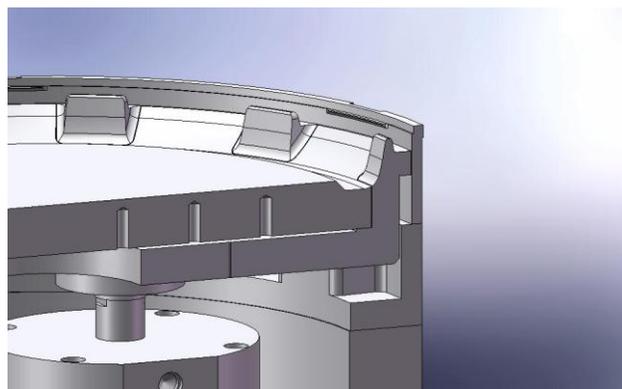
Donde  $x$  es el número de pistones empleado para que el sistema esté en equilibrio.

La masa del sistema completo no supera los 3 Kg, debido a esto no lo consideré en el cálculo. Además desprecié el efecto de la fricción entre el émbolo y carcasa del pistón así como también de las flechas y bujes.

Con base en el cálculo anterior coloqué dos pistones para mantener el sistema en las posiciones requeridas por el diseño.

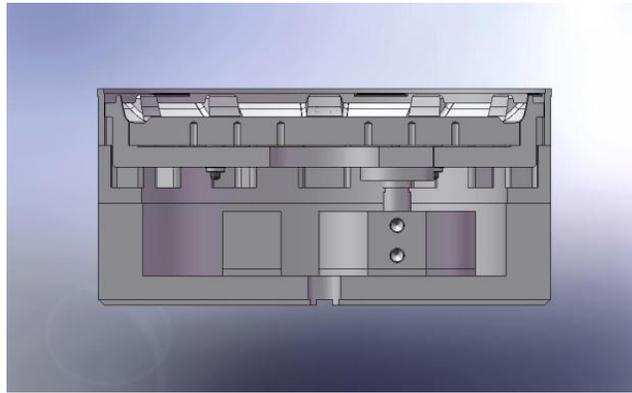
La carrera de los pistones dependió de la geometría del empaque ya que, recordando la idea original, es necesario ocultar una parte del sistema. El diámetro del émbolo del pistón lo ajusté de acuerdo al espacio sobrante en la parte inferior de la cavidad, ya que pude haber hecho el cálculo con un pistón de mayor diámetro pero no se podía colocar al centro de la cavidad por cuestiones de ventilación en el molde.

El diseño final del sistema quedó de la siguiente forma:



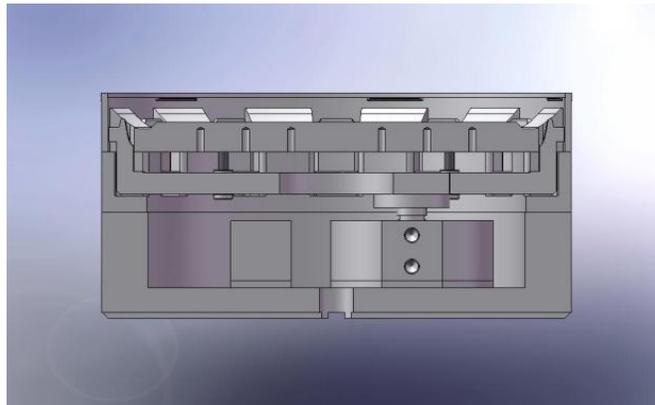
La figura muestra un corte de la cavidad. Se aprecia un pistón y los elementos del sistema de desmoldeo. En la parte superior se localiza un undercut.

En la siguiente imagen se muestra el sistema trabajando para evitar ser vencido por la presión de formado.



Sistema de desmoldeo activo.

La imagen muestra el sistema de desmoldeo oculto en la cavidad para debilitar la estructura del empaque, con esto logré expulsarlo de la cavidad.



Sistema de desmoldeo inactivo.

## CAPÍTULO 2

La necesidad de una mayor producción de empaques conduce a incrementar el número de cavidades por lo tanto las dimensiones del molde crecen considerablemente. El número de sistemas de desmoldeo es proporcional al número de cavidades, debido a esto los elementos de los sistemas aumentan de forma considerable. El costo y tiempo de fabricación crece debido a las piezas; el ajuste de todos estos sistemas de desmoldeo se vuelve tedioso. Una mayor producción de empaques y la necesidad de expulsarlos eficazmente conduce a emplear una máquina termoformadora diferente a la mencionada en el capítulo anterior.

La máquina, para este caso, consta de 2 módulos: estación de formado y estación de corte. La estación de formado consta de dos partes: superior e inferior. Ambas partes producen vacío o presión, dependiendo de la posición del molde y esto es a consecuencia del empaque. En la parte inferior se adiciona un mecanismo asistente de formado, esto con el fin de obtener la mejor distribución del termoplástico en la cavidad y así obtener empaques de mejor calidad.

La parte superior contiene una salida extra de aire, esto con fin de mover independientemente del molde los elementos adicionales.



Estación de formado de la máquina termoformadora.

El ciclo de la estación de formado es el siguiente:

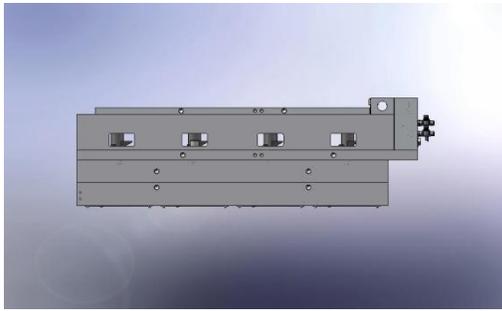
Se eleva la temperatura del material mediante radiación con la ayuda de un horno colocado antes de las mesas de montaje para el molde. Ambas estaciones, superior e inferior se cierran. Las cavidades, para este caso se encuentran situadas en la parte superior.

El asistente para formado es accionado y empuja el material plástico dentro de las cavidades. En la parte inferior se inyecta aire a presión con el objetivo de retirar el plástico del asistente y empujarlo hacia las paredes de las cavidades.

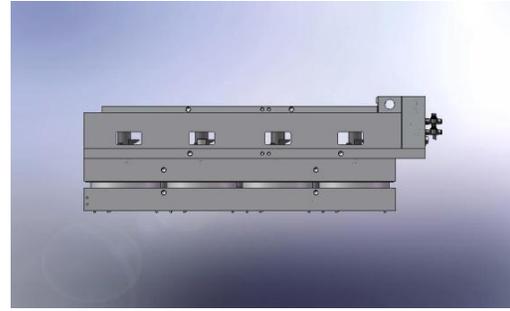
En la parte superior se extrae el aire de las cavidades. Hasta este momento el material ya obtuvo la forma de la cavidad y, debido al enfriamiento de las cavidades el plástico disminuyó considerablemente su temperatura.

El asistente para formado regresa a su posición y la máquina abre la parte superior del molde. Al mismo tiempo comienza el funcionamiento del sistema de desmoldeo. Pistones ubicados dentro de la parte superior del molde mueven la placa. Ésta placa está en contacto con el plástico manteniéndolo en compresión con la parte inferior del molde (que aún no ha bajado) con esto, los empaques termoformados son extraídos de las cavidades. La distancia que recorre esta placa se determina de acuerdo a los negativos y undercut de los empaques.

El nombre de esta placa es “marco expulsor”. Con esto se reduce considerablemente los elementos del sistema y el ajuste es solo para los pernos guía con los bujes. Con los empaques fuera de las cavidades los pistones levantan el marco expulsor regresándolo a su posición original. Al mismo tiempo que esto sucede la máquina abre la parte inferior del molde. Ambas partes, superior e inferior terminan su recorrido y con esto termina el ciclo de la estación de formado.



Marco expulsor en posición original.



Marco expulsor activado.

Los diseños de moldes anteriores contienen una cantidad considerable de pistones, pero para el diseño de molde de un empaque en particular se carece de espacio. Para reducir el número de pistones necesité determinar las fuerzas involucradas en el sistema de desmoldeo. Los pistones son empleados solo para elevar el marco expulsor, por lo tanto la magnitud del peso es la fuerza que consideré para el rediseño de este sistema de desmoldeo.

La meta fue calcular el número de pistones necesarios para elevar el marco expulsor. Esto con el fin de colocar el número preciso de pistones, ya que éstos ocupan espacio mismo que es necesario para colocar elementos para ventilación y refrigeración del molde.

El siguiente diagrama de cuerpo libre (DCL) me ayudó a determinar la magnitud y dirección de las fuerzas ejercidas entre el pistón y el marco expulsor.

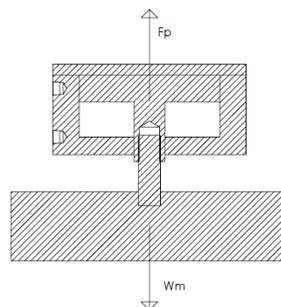


Diagrama de cuerpo libre del sistema de desmoldeo

Donde:

**$F_p$**   $\approx$  fuerza del pistón

**$W_m$**   $\approx$  peso del marco

La sumatoria de fuerzas quedó de la siguiente forma:

$$\sum F = 0$$

$$F_p - W_m = 0$$

$$F_p = W_m \dots (1)$$

Esta ecuación muestra la relación de las fuerzas en equilibrio.

La definición de la presión ejercida sobre un área:

$$P = \frac{F}{A}$$

Despejando la fuerza

$$F = P * A$$

Para el diseño:

$$P = 2 \text{ bar} \quad \gamma \quad A = \frac{\pi}{4} * (0.1016\text{m})^2 = 0.0081 \text{ m}^2$$

Sustituyendo valores:

$$F_p = 2 \text{ bar} \left( \frac{100\,000 \text{ Pa}}{1 \text{ bar}} \right) * 0.0081 \text{ m}^2$$

$$\mathbf{F_p = 1621.5 N}$$

Esta es la fuerza que ejerce un solo pistón para mover el marco expulsor.

Para calcular el peso del marco expulsor usé la definición de la densidad

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Despejando la masa:

$$m = \rho * v$$

Donde:

$\rho \approx$  densidad del aluminio

$v \approx$  volumen del marco

Donde la masa del marco es la siguiente:

$$m_t = m_p - m_a \dots (2)$$

Donde:

$m_p \approx$  masa de la placa

$m_a \approx$  masa de los alojamientos

La masa de la placa es:

$$m_p = 2810 \frac{Kg}{m^3} * 1.2 m * 1.2 m * 0.0889 m$$

$$m_p = 359.7 Kg$$

El diámetro de los alojamientos es 0.330 m y la altura del marco 0.0889 m. El número de alojamientos es 9. Por lo tanto la masa de los alojamientos es la siguiente:

$$m_a = 2810 \frac{Kg}{m^2} * \left\{ \frac{\pi}{4} * (0.3m)^2 \right\} * 0.0889m * 9$$
$$m_a = 158.9 Kg$$

La masa del marco es la diferencia como lo muestra la ecuación 2

$$m_p - m_a = m_t = 192.7 Kg$$

Al multiplicar la masa por la aceleración de la gravedad resulta el peso del marco expulsor:

$$Wm = 192.7 Kg * 9.78 \frac{m}{s^2}$$

$$Wm = 1884.6 N$$

Para que se cumpla la ecuación (1) usé la constante “y” que se refiere al número de pistones necesarios para elevar el marco expulsor.

$$Fp * y = Wm$$

Despejando “y” de la ecuación anterior

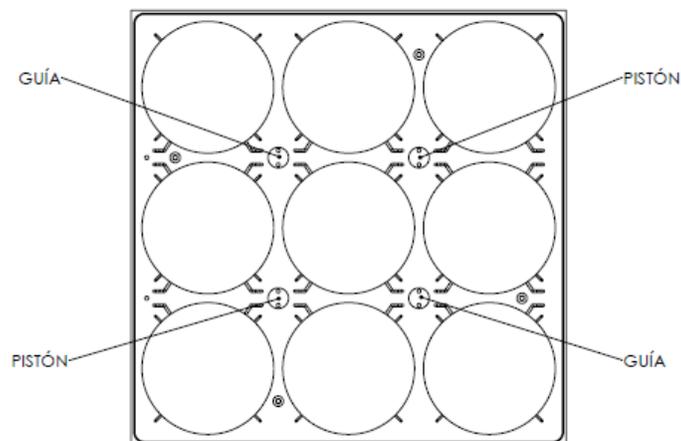
$$y = \frac{Wm}{Fp}$$

Sustituyendo valores

$$y = \frac{1884.6}{1621.5} = 1.2$$

En el cálculo no consideré el peso del agua que circula dentro del marco y sus accesorios así como también los elementos para ayudar al termoformado de los empaques. Debido a las consideraciones anteriores solo necesité ocupar dos pistones.

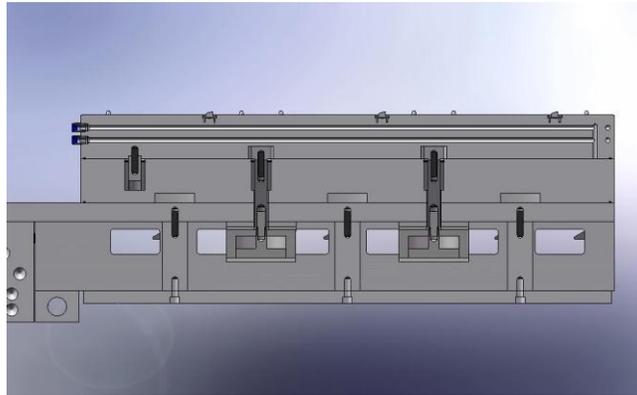
Debido a la distribución de las cavidades en el molde, el espacio disponible y por cuestiones de simetría coloqué los pistones en esquinas opuestas, como lo muestra la siguiente figura. En las esquinas opuestas a los pistones puse dos pernos con bujes para guiar el marco expulsor, ya que los pistones solo mueven el marco sin guía.



Ubicación de los pistones y sistemas de guiado para el marco expulsor.

La siguiente figura muestra un corte representativo del sistema de desmoldeo empleado para moldes de mayor producción. Se aprecia el marco expulsor sujeto de la extensión que termina en el émbolo del pistón. También se observa el sistema de guía en la parte superior izquierda.

Con este cálculo reduje el costo del molde y mejoré la ventilación así como también la refrigeración del mismo ya que al contar con mayor espacio aproveché para colocar sistemas de ventilación y refrigeración dentro del molde.



Corte del sistema de desmoldeo empleado para moldes de mayor producción.

## CONCLUSIONES

La participación en proyectos para empresas, ya sean del sector público o privado, alimenta a los alumnos recién egresados en el proceso de aprendizaje, ya que al salir de las aulas le tememos al fracaso. Es cierto que la escuela enseña, pero falta más información acerca de estancias en empresas para completar este ciclo o interés de los alumnos en acudir a alguna. Esto con el fin de eliminar por completo el miedo o incertidumbre de saber si los resultados son los correctos.

Los proyectos antes mencionados los realicé sin supervisión alguna, yo fui mi propio jefe, seleccioné las mejores propuestas, las perfeccioné y las llevé a la práctica. Por último probé los moldes en máquinas y fui testigo de cómo las decisiones que tomé en el transcurso de mis diseños fueron acertadas o erróneas. Comprobé mis resultados con las pruebas y los sustenté con los cálculos realizados.

Finalmente con el tiempo y aprendiendo de las malas decisiones y mejorando las buenas llegaré a predecir con mayor exactitud el correcto funcionamiento de los diseños ya sean aplicados a la ingeniería o a mi vida personal.

Para elaborar los cálculos necesité de la teoría obtenida en las aulas, ya que en muchas ocasiones conocemos las fórmulas para resolver un problema determinado pero cuando nos faltan algunos datos lo dejamos sin solución y optamos por resolverlo a prueba y error, trayendo como consecuencia el aumento de tiempo y dinero. Si logramos entender los conceptos básicos y las definiciones podremos resolver los problemas no solo con el método conocido, sino con el más adecuado para cada problema.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- “CUT-IN-PLACE TOOLING HANDBOOK”  
G. N. Plastic Company Limited  
Revision 4, August 1998  
Chester, Nova Scotia, Canada
- “THERMOFORMING A PRACTICAL GUIDE”  
Adolf Illig  
Carl Hanser Verlag, Munich 2001
- “THERMOFORMING A PLASTICS PROCESSING GUIDE”  
Dr. G. Gruenwald, P.E.  
Technomic Publishing AG  
Basel, Switzerland, 1998
- [www.hasco.com](http://www.hasco.com)