

# **Desarrollo de guía para el diseño de biseles plásticos automotrices moldeados por inyección**

***Iris Santiago Trujillo***

ITESM-Campus Toluca  
*iris.santiagotrujillo@gmail.com*

***Guillermo Guevara Morales***

ITESM-Campus Estado de México  
*guemo\_892@hotmail.com*

***Alejandro Rojo Valerio***

ITESM-Campus Toluca  
*arojo@itesm.mx*

***Ulises Figueroa López***

ITESM-Campus Estado de México  
*ufiguero@itesm.mx*

***Andrea Guevara Morales***

ITESM-Campus Estado de México  
*a.guevaram@itesm.mx*

## **Resumen**

Los plásticos son unos de los materiales ingenieriles más utilizados en la actualidad. En el ramo automotriz, su versatilidad les ha permitido encontrar aplicaciones diversas, ocupando al día de hoy aproximadamente el 50% del volumen de un vehículo. Sin embargo, el diseño de componentes plásticos continúa siendo un proceso basado en la experiencia, lo cual en muchos casos resulta en retrasos en la producción, afectando directamente los costos. El objetivo de este trabajo es desarrollar una guía de diseño para una familia de componentes utilizados en el ramo automotriz: los biseles. Para el

desarrollo de esta guía se estudiaron los diferentes elementos que componen un bisel y mediante diversas simulaciones en MoldFlow Plastics Insight se determinaron los parámetros geométricos óptimos para cada elemento. La guía es validada con el diseño de un bisel para una palanca de velocidades.

**Palabra(s) Clave(s):** automotriz, bisel, diseño, inyección, plástico.

## 1. Introducción

Hoy en día, aproximadamente 50% de los componentes de un automóvil promedio son elaborados con plásticos. Los plásticos han ganado terreno en este sector debido a su durabilidad, resistencia a la corrosión y agentes químicos, buenas características superficiales, bajo costo y peso, moldeo rápido y versatilidad. Sin embargo, debido a la naturaleza de los plásticos y su comportamiento durante su moldeo, el diseño de componentes plásticos resulta una etapa sensible y compleja. Fuentes estiman que el costo del diseño de un producto corresponde aproximadamente al 70% del costo de su manufactura [1]. Además, las fallas en el diseño retrasan la producción de la pieza, lo que impacta en el costo de desarrollo del producto. Es por ello importante contar con herramientas que permitan diseñar componentes plásticos de calidad.

Actualmente, las metodologías y guías de diseño de componentes plásticos son pocas y presentan información limitada sobre el diseño de piezas, refiriéndose únicamente al diseño de elementos aislados. La realidad es que la mayor parte del diseño de componentes plásticos es empírico, basado en la experiencia y conocimiento previo de quien lo realiza.

El objetivo de este trabajo es desarrollar una guía para el diseño de biseles, asistiendo al equipo encargado de esta tarea en la selección de los parámetros más importantes del diseño, sentando además un ejemplo para el desarrollo de nuevas guías útiles para el diseño de otros componentes. La metodología de trabajo para el desarrollo de la guía de diseño, cuya estructura se seguirá en las secciones de este artículo, es la siguiente:

1) Determinación de las características de los biseles en base al análisis de su forma y función, 2) Recopilación de información de guías y estudios para el diseño de los elementos que contiene la familia de biseles, 3) Diseño CAD de pieza maestra que contiene los elementos de la familia de biseles, con las recomendaciones encontradas en las guías, 4) Simulación de proceso de inyección de pieza maestra, utilizando el software Autodesk Simulation Moldflow Insight Ultimate 2014, 5) Análisis del resultado de la simulación, 6) Recopilación de toda la información obtenida en una guía de diseño, y finalmente 7) La validación de la guía mediante el diseño de un bisel en particular.

## **2. Familia de biseles: Clasificación**

La clasificación de piezas se realizó a partir de una inspección visual de un conjunto de componentes plásticos comunes en un automóvil genérico. Como primera clasificación se identificaron cuatro familias de componentes: componentes visibles, externos e internos, y componentes no visibles, externos e internos. Dentro de la familia de componentes visibles-internos, se identificaron 8 sub-familias: biseles, rendijas, cubiertas, estructuras, accesorios, botones, carcasas y palancas de acuerdo a su función.

Para generar la guía de diseño se seleccionó la familia de biseles debido al gran número de biseles encontrados en un automóvil. Como característica común, la función de los biseles es proveer sujeción entre elementos, así como dar mejor apariencia a los elementos con los que colindan. Algunos ejemplos son: bisel de estéreo, bisel de manija e interruptores, bisel de bocina, bisel de aire acondicionado, bisel de consola central, bisel de lámpara de techo, entre otros (Fig. 1).



**Fig. 1. Ejemplo de biseles del auto (tomado de la red).**

Las características o elementos comunes encontrados en los componentes de la familia de biseles son:

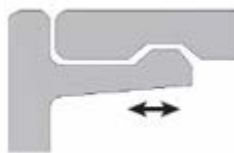
- Pared: Conforman la pieza, contiene el resto de los elementos. El acabado superficial de su cara visible es importante para la calidad de la pieza.
- Costilla: Elementos que aportan rigidez a la pieza, sin incrementar el espesor de la pared primaria, facilitando además el flujo de plástico durante el moldeo.
- Elementos de sujeción: Los engarces o snap-fits son el sistema más común de sujeción, y realizan esta función por medio de interferencia mecánica; son inyectados en la pieza, por lo que eliminan la necesidad de añadir elementos externos.
- Mamelón (bosses): Pueden cumplir diversas funciones, como: localizadores, espaciadores, montar o unir puntos, reforzar barrenos.
- Clip: Son elementos que ayudan a sujetar y localizar piezas, generalmente en apoyo a los snap-fits.
- Reborde: Mejora la apariencia en la zona de unión de piezas.

Los materiales comúnmente utilizados en la fabricación de biseles son: polipropileno (PP), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), poliamida (PA) y poliacetal (POM); siendo el polipropileno el más común, debido a su facilidad de procesamiento, estabilidad dimensional y dureza al impacto.

### 3. Guías y recomendaciones de diseño existentes

A partir de algunos estudios previos [2] relacionados con el diseño de componentes plásticos, y de guías de diseño comúnmente publicadas por los distribuidores de resinas [3-5], se recopiló información concerniente al diseño de los elementos característicos en biseles (pared, costilla, snap-fits, mamelón, clip y reborde). Éstas se resumen a continuación:

- Pared: espesores menores a 4 mm; un rango de 0.635 mm a 3.81 mm.
- Costillas: colocarlas en paralelo al flujo de inyección, de esta forma se evita aire atrapado entre frentes de flujo y fluctuación del flujo másico, reduciendo el riesgo de piezas incompletas y esfuerzos internos. Durante el proceso de inyección, las costillas se llenaran más rápido si un mamelón se encuentra al final de ellas, debido a que permite la salida de aire atrapado. El espesor de las costillas depende del espesor de la pared, ya que las costillas pueden causar rechupes en las paredes adyacentes, las guías de diseño sugieren un espesor de costilla de 50 a 75% del espesor de la pared (T). Los radios internos recomendados son de 25 a 50% de T, altura de costilla menor a 3T, distancia entre costillas menores a 2T y un ángulo de desmoldeo mínimo de 0.5 °.
- Snap-fits: Las fallas que estos pueden presentar se deben a fatiga, dada la deflexión que sufren al ensamblarse, de existir una posibilidad alta de falla se deberán colocar snap-fits redundantes. Entre los diversos diseños de snap-fits, que obedecen a distintas condiciones de uso, se tomó en cuenta el modelo más sencillo, el snap-fit en voladizo, mismo que se ilustra en la Fig. 2.



**Fig. 2. Snap-fit en voladizo.**

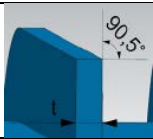
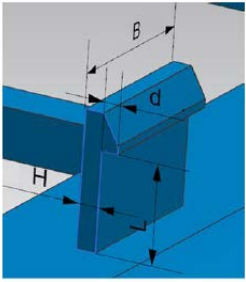
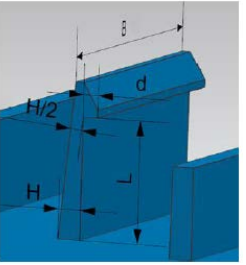
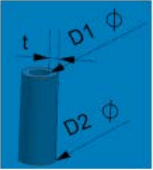

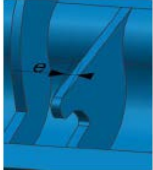
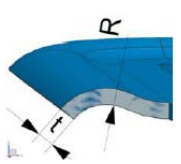
Malloy [6] simplificó el estudio de los snap-fits a una viga en voladizo y determinó las ecuaciones de deflexión y fuerza axial. Con dichas ecuaciones es posible determinar qué fuerza se requiere para insertar/ensamblar el engarce dadas sus dimensiones. Para este análisis se consideró que la fuerza máxima de inserción manual es de 50 N, basado en un estudio realizado por Potvin [7] al analizar el trabajo realizado por mujeres durante una jornada laboral. Es decir, la geometría de los snap-fits propuestos debe permitir una fácil inserción con una fuerza no mayor a 50 N.

- Mamelones: deberán unirse a las paredes del componente mediante costillas. El diámetro externo deberá ser 2.5 veces el diámetro del tornillo. Deben incluir ángulos de desmoldeo de  $0.5^\circ$ .

#### **4. Diseño de pieza maestra**

Con el objetivo de analizar el efecto que los diferentes parámetros de diseño del bisel tienen en el proceso de inyección, se diseñó una pieza maestra. Esta pieza contiene todas las características y elementos de un bisel, dividida en tres secciones, cada una con los mismos elementos pero con diferentes parámetros de diseño (grosos, radios, longitudes, ángulos, entre otros).

El diseño inició con la elección del espesor de la pared, ya que el resto de los elementos se diseñan en función de éste. Considerando los parámetros sugeridos por las guías de diseño se determinaron los espesores de cada sección: 1 mm, 2 mm y 3 mm. En cada una de las secciones se colocaron seis costillas agrupadas en pares, dos snap-fits con un mamelón hueco y uno sencillo (excepto en la pared de 1mm). La pieza contiene también dos rebordes, además de un par de canales alargados para evaluar el flujo del polímero. Las dimensiones se asignaron de acuerdo a las recomendaciones mencionadas anteriormente y se resumen en la tabla 1. Las dimensiones de la pieza maestra (Fig. 3) son 241 mm de ancho por 340 mm de largo, con un volumen de  $107,102 \text{ mm}^3$ .

| Elemento                            | Ilustración   | Sección 1   | Sección 2   | Sección 3   |
|-------------------------------------|---|-------------|-------------|-------------|
| Pared                               |   | T = 1 mm    | T = 2 mm    | T = 3 mm    |
| Costilla                            |    | t1 = 0.4 mm | t1 = 0.8 mm | t1 = 1.2 mm |
|                                     |   | t2 = 0.5 mm | t2 = 1 mm   | t2 = 1.5 mm |
|                                     |   | t3 = 0.6 mm | t3 = 1.2 mm | t3 = 1.8 mm |
| Snap-fit de sección constante       |    | ---         | d = 1       | d = 1       |
|                                     |   | ---         | H = 0.8 mm  | H = 1.2 mm  |
|                                     |   | ---         | B1 = 10 mm  | B1 = 10 mm  |
|                                     |   | ---         | L1 = 4 mm   | L1 = 6 mm   |
|                                     |   | ---         | d = 1       | d = 1       |
|                                     |   | ---         | H = 0.8 mm  | H = 1.2 mm  |
|                                     |   | ---         | B2 = 20 mm  | B2 = 20 mm  |
| Snap-fit con disminución de sección |   | ---         | d = 1       | d = 1       |
|                                     |   | ---         | H = 1 mm    | H = 1.2 mm  |
|                                     |   | ---         | B1 = 10 mm  | B1 = 10 mm  |
|                                     |   | ---         | L1 = 4.3 mm | L1 = 6 mm   |
|                                     |   | ---         | d = 1       | d = 1       |
|                                     |   | ---         | H = 1 mm    | H = 1.2 mm  |
|                                     |   | ---         | B2 = 20 mm  | B2 = 20 mm  |
| Mamelón hueco                       |  | ---         | D1 = 0.8 mm | D1 = 0.8 mm |
|                                     |   | ---         | D2 = 1.6 mm | D2 = 1.2 mm |
| Mamelón sencillo                    |  | ---         | D = 0.8     | D = 1.2 mm  |
| Clip                                |  | e = 0.4 mm  | e = 0.8 mm  | e = 1.2 mm  |
| Reborde                             |  | t1 = 1 mm   | t1 = 2 mm   | t1 = 3 mm   |
|                                     |   | R1 = 7.5 mm | R1 = 7.5 mm | R1 = 7.5 mm |

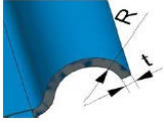
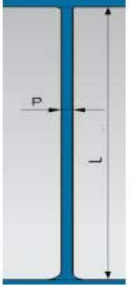

|         |  |             |             |             |
|---------|--|-------------|-------------|-------------|
|         |   | t2 = 1 mm   | t2 = 2 mm   | t2 = 3 mm   |
|         |  | R2 = 6.8 mm | R2 = 6.8 mm | R2 = 6.8 mm |
| Canales |   | P1 = 1.5 mm | P1 = 1.5 mm | P1 = 1.5 mm |
|         |  | L1 = 120 mm | L1 = 120 mm | L1 = 120 mm |
|         |  | P2 = 3 mm   | P2 = 3 mm   | P2 = 3 mm   |
|         |  | L2 = 120 mm | L2 = 120 mm | L2 = 120 mm |
| Radios  |  | R1 = 1 mm   | R1 = 1 mm   | R1 = 1 mm   |
|         |  | R2 = 2 mm   | R2 = 2 mm   | R2 = 2 mm   |
|         |  | R3 = 3 mm   | R3 = 3 mm   | R3 = 3 mm   |
|         |  | R4 = 4 mm   | R4 = 4 mm   | R4 = 4 mm   |

Tabla 1. Parámetros de diseño de pieza maestra.

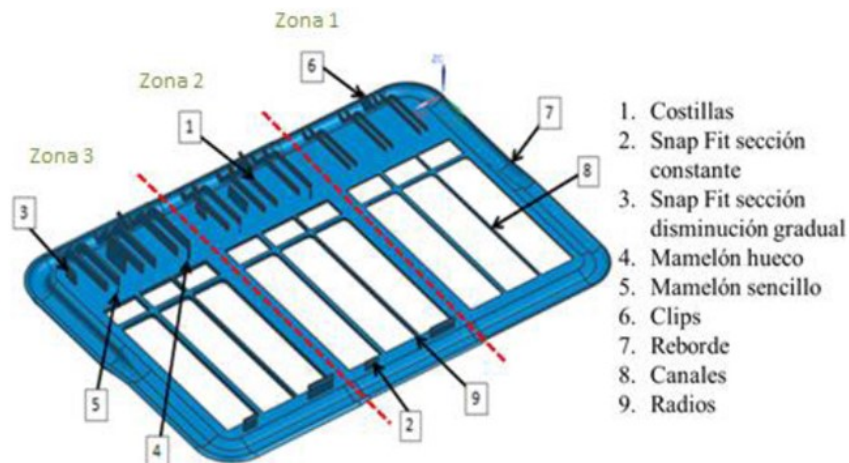
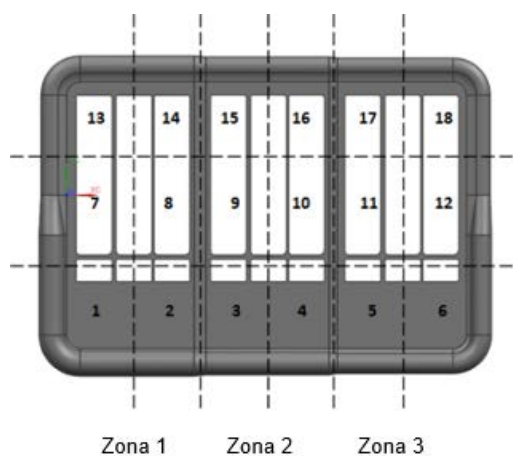


Fig. 3. Modelo CAD y partes de pieza maestra.



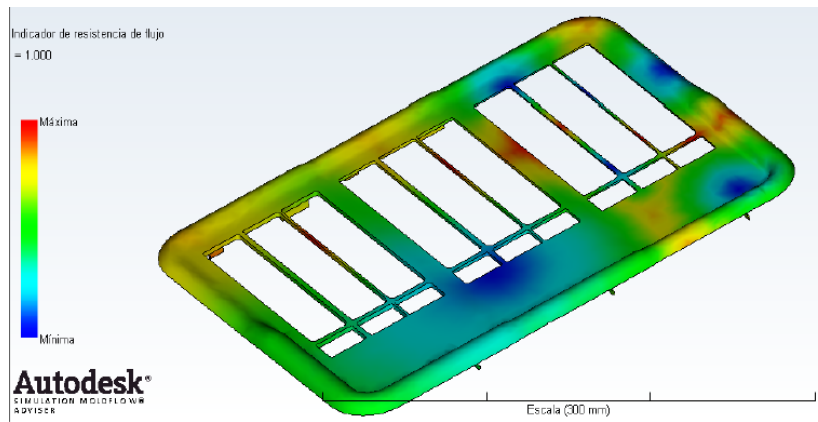
## 5. Simulación de inyección

Para realizar la simulación de inyección de la pieza maestra fue necesario definir los puntos inyección. La recomendación es identificar las zonas que presentan menor resistencia al flujo de material. También se sugiere inyectar el material en las secciones gruesas para alcanzar un empaquetamiento uniforme y evitar que el polímero solidifique antes de llenar la cavidad. Con el objetivo de identificar las zonas recomendadas para localizar los puntos de inyección, se realizó un estudio de resistencia al flujo utilizando el software Moldflow. Se dividió la pieza en cuadrantes (Fig. 4) para una mejor exposición de los resultados.



**Fig. 4. Cuadrantes de la pieza maestra. Lado visible del bisel.**

La simulación se realizó utilizando polipropileno genérico cuyos parámetros básicos de simulación son: temperatura de inyección 180-260 °C, temperatura del molde 20-80 °C, temperatura de expulsión: 120-125 °C. El resultado de la simulación se muestra en la Fig. 5, en donde se observa que los cuadrantes 1- 6, 11, 12, 17 y 18 presentan menor resistencia al flujo.



**Fig. 5. Resistencia al flujo de la pieza maestra.**

Con este resultado, se llevó a cabo un análisis de llenado con diferentes experimentos, variando el número y ubicación de los puntos de inyección de la pieza. Las variables evaluadas en la simulación fueron: temperatura del frente del flujo (baja y alta), tiempo de llenado, presión de inyección e independencia del flujo en las diferentes secciones. Respecto a este último punto, el objetivo de buscar un flujo de material independiente entre las tres secciones de la pieza es poder analizar el proceso de inyección de cada sección por separado, sin que influya el proceso de las secciones adyacentes.

Los resultados de la simulación se resumen en la tabla 2. Es importante mencionar que se observaron problemas de llenado en dos elementos, el canal delgado y el clip en la sección de 1mm (cuadrante 6). Esto se detalla en las últimas dos columnas de la tabla 2, en donde se asigna el valor “0” en caso de no llenarse la cavidad del elemento, “0.5” si el llenado fue parcial y “1” en caso de ser completo.

| Experimento | Puntos de inyección | Temperatura de frente baja [°C] | Temperatura de frente alta [°C] | Tiempo de llenado [s] | Presión de inyección [Mpa] | Independencia de flujo | Clip | Canal |
|-------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|------|-------|
| 1           | 6                   | 222.00                          | 240.10                          | 2.40                  | 45.12                      | 60.00                  | 0    | 1     |
| 2           | 7                   | 216.70                          | 240.00                          | 3.75                  | 44.08                      | 60.00                  | 0    | 0     |
| 3           | 5                   | 214.40                          | 240.10                          | 3.35                  | 32.53                      | 50.00                  | 0.5  | 0     |
| 4           | 5                   | 216.80                          | 240.10                          | 2.93                  | 45.39                      | 50.00                  | 0    | 1     |
| 5           | 6                   | 201.80                          | 240.10                          | 3.47                  | 31.84                      | 50.00                  | 0    | 0     |
| 6           | 8                   | 219.50                          | 240.10                          | 3.24                  | 29.85                      | 75.00                  | 0    | 0     |
| 7           | 9                   | 220.40                          | 240.10                          | 3.15                  | 26.82                      | 80.00                  | 0    | 0     |
| 8           | 7                   | 218.30                          | 240.10                          | 4.06                  | 27.32                      | 75.00                  | 0    | 0     |
| 9           | 7                   | 224.20                          | 240.10                          | 3.52                  | 28.80                      | 80.00                  | 0    | 0     |
| 10          | 9                   | 222.20                          | 240.10                          | 3.06                  | 27.70                      | 80.00                  | 0    | 0     |
| 11          | 10                  | 223.80                          | 240.20                          | 2.19                  | 27.52                      | 85.00                  | 0    | 1     |
| 12          | 11                  | 226.10                          | 240.10                          | 3.23                  | 27.92                      | 90.00                  | 0    | 0     |
| 13          | 9                   | 225.00                          | 240.00                          | 3.44                  | 27.33                      | 85.00                  | 0    | 0     |
| 14          | 10                  | 225.40                          | 275.20                          | 2.74                  | 80.22                      | 75.00                  | 0    | 1     |
| 15          | 8                   | 217.60                          | 240.10                          | 3.91                  | 44.22                      | 50.00                  | 0.5  | 0     |
| 16          | 8                   | 216.00                          | 240.30                          | 2.64                  | 46.14                      | 60.00                  | 0    | 1     |
| 17          | 9                   | 162.00                          | 240.70                          | 3.74                  | 47.64                      | 60.00                  | 0    | 0     |
| 18          | 6                   | 220.60                          | 240.10                          | 3.56                  | 29.51                      | 85.00                  | 0.5  | 0     |

**Tabla 2. Resultados de la simulación.**

En los resultados de la simulación, 18 fueron considerados óptimos, dado que la temperatura de trabajo se mantiene dentro del rango aceptable (220 – 260 °C), la presión de inyección es relativamente baja (por debajo del promedio, e inyectable fácilmente en una máquina pequeña), y aunque el tiempo de llenado (3.56 s) es mayor que el promedio (3.24 s), se observa alta independencia de flujo con pocos puntos de inyección (6, ubicados en los cuadrantes 1, 3, 5, 6, 12 y 18).

Definidos los puntos de inyección, se preparó la pieza para el análisis de llenado, empaquetamiento, enfriamiento y deformaciones. La malla consiste de 652898

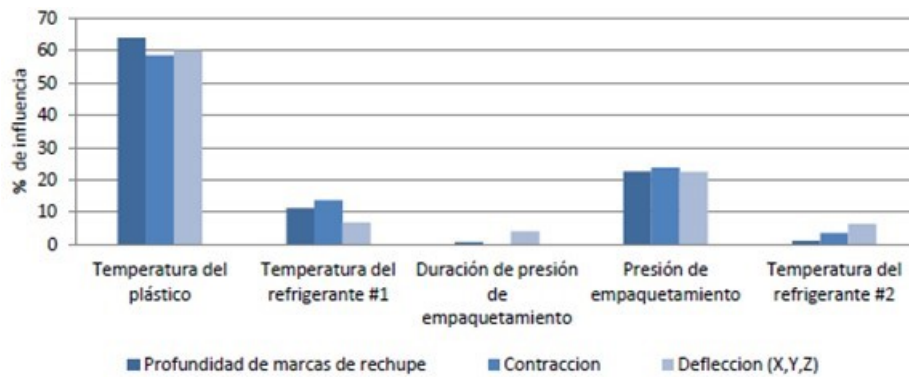
elementos tetraédricos, con un volumen promedio por elemento de  $0.164 \text{ mm}^3$ . Se prestó especial atención a los elementos más pequeños, como radios, snap-fits, mamelones y costilla, cuidando que la malla respetara la geometría original. La malla cumplió con los requerimientos de calidad del software.

Posteriormente se determinó el sistema de enfriamiento necesario para la simulación. Se optó por utilizar la misma geometría de canales de circulación en las tres secciones de la pieza, y utilizar agua como refrigerante con una temperatura de entrada al molde de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . La conductividad térmica del molde se estableció de  $29 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  (material del molde: acero P20).

Finalmente se utilizó la herramienta de diseño de experimentos de Moldflow, para determinar la influencia de cada factor en el resultado obtenido. Los factores elegidos para la simulación (experimentos) fueron: temperatura del plástico, perfil de presión de empaquetamiento, temperatura del refrigerante 1 y 2 (en la entrada de la placa fija y móvil respectivamente). Las respuestas de interés o resultados sobre los cuales se analizará la influencia de estos factores son: profundidad de marcas de rechupe, contracción y deflexión de la pieza.

## **6. Resultados de simulación**

Los factores que tienen más impacto en la deformación de la pieza (por causa de cualquiera de las respuestas de interés: rechupes, contracción o deflexión) son la temperatura de plástico y la presión de empaquetamiento. En la Fig. 6 se muestra un gráfico con el porcentaje de influencia de cada factor sobre las variables de respuesta.



**Fig. 6. Porcentaje de influencia de cada factor sobre las variables de respuesta.**

Dado que a mayor presión y menor temperatura, el polímero es más denso, es de esperar que la menor profundidad de rechupe, la menor contracción y la menor deflexión se alcancen con estas condiciones. Además, se encontró que el lugar de mayor deflexión es en la zona donde se encuentran puntos de inyección cercanos, por lo que se recomienda una distribución simétrica y espaciada de los puntos y evitar ubicarlos en zonas de carga o sujetas a esfuerzos.

En los siguientes puntos se describen los resultados de mayor relevancia encontrados en la simulación:

- La velocidad del flujo fue suficiente para llenar completamente el canal delgado, aunque no lo fue para el llenado del clip de la sección de 1 mm. Por lo tanto, si se opta por el diseño de un bisel de 1 mm, el uso de clips no es una opción recomendable.
- En las secciones con espesor de pared de 2 y 3 mm la temperatura del frente del flujo es prácticamente uniforme, lo que contribuye a formar una pieza estable dimensionalmente. Sin embargo, en la Fig. 6 se puede observar que en la sección de 1 mm de espesor hay variaciones significativas en la temperatura del frente de flujo, con una diferencia mayor a 30°C en los puntos donde la temperatura cae.

**Fig. 6. Temperatura de frente de flujo.**

- La sección de 3 mm presentó la mayor contracción (10.75%), dado que se utilizó la misma presión para inyectar 3 volúmenes diferentes. Esta sección, de mayor volumen, resultó con cadenas poliméricas menos compactas que resultaron en mayores contracciones. Esto puede evitarse ajustando la presión de inyección para cada grosor.
- Se observan rechupes con diferentes profundidades (Fig. 7). Como se esperaba, entre menor es la relación del espesor de la costilla respecto al espesor de la pared, se obtiene menor rechupe. Además se tiene diferencia entre los rechupes de las diferentes secciones, debido a la diferencia en la presión de empaquetamiento: las zonas de menor volumen y mayor presión resultan con menor rechupe. La recomendación es que para piezas que no tienen textura la profundidad de rechupe se mantenga menor a 0.05 mm. En la zona con pared de 3 mm y costilla de 60% de espesor, se tiene el rechupe más grave, con 0.11 mm de profundidad.

**Fig. 7. Rechupes en pieza maestra.**

- Contrario a lo esperado, las costillas que terminan con radio tienen el mismo comportamiento de llenado que las costillas que terminan en ángulo recto.
- En todas las costillas se presentó aire atrapado entre la pared de la cavidad y el frente de flujo (Fig. 8). Lo mismo sucede en las esquinas superiores de los snap-fit y en la parte superior de los mamelones (huecos y sencillos). Esto puede causar piezas incompletas, burbujas en la pieza y quemaduras. Es necesario asegurar el correcto diseño y funcionamiento del sistema de venteo en el molde.

**Fig. 8. Aire atrapado en cavidad de costillas.**

- En ambos modelos de snap-fit (con sección constante y con disminución de sección) el flujo de material fue similar y en ningún caso se presentaron problemas de llenado adicionales al aire atrapado mencionado anteriormente.
- El mamelón sencillo en la sección de 3 mm presenta problemas de rechupe, con una profundidad de 0.11 mm.
- El análisis no muestra relevancia en la geometría del reborde, en ambas geometrías el llenado es similar.
- En los radios de 1 a 4 mm no se observaron cambios en el flujo de material, por lo que su elección no es significativa durante la inyección.

## **7. Guía de diseño para biseles**

En la tabla 3 se muestra la guía de diseño. Ésta contiene la información recopilada en la sección 3, así como la información obtenida de la simulación de inyección. En esta guía se presentan los elementos que contienen los biseles, las recomendaciones de diseño para dichos elementos, además de las fallas que podrían presentarse durante el proceso de inyección y las posibles correcciones que resolverían estos problemas.



| GUIA DE DISEÑO PARA BISELES PLASTICOS |   |   |   |
|---------------------------------------|---|---|---|
| Elemento                              | Recomendaciones   | Fallas potenciales                                      | Posibles soluciones   |
| Pared                                 | Espesor > 2 mm  | Problemas de llenado en secciones delgadas.             | Incrementar espesor de pieza.                                   |
|                                       |   |   | Incrementar espesor localmente.                                 |
|                                       |   |   | Cambiar material por otro de mayor fluidez.                     |
|                                       |   |   | Aumentar velocidad de inyección y temperatura de polímero.      |
| Costillas                             | *Zonas visibles:<br>Espesor < 40% de pared.<br><br>*Zonas no visibles:<br>Espesor < 60% de pared. | Rechupes mayores a 0.05 mm                              | Disminuir espesor.  |
|                                       |   |   | Aumentar presión de compactación.                               |
|                                       |   |   | Cambiar material por otro de mayor cristalinidad.               |
|                                       |   |   | Relocalizar puntos de inyección.                                |
|                                       |   | Aire atrapado (Llenado incompleto / material degradado) | Disminuir temperatura de polímero.                              |
|                                       |   |   | Aumentar espesor.   |
|                                       |   |   | Reducir velocidad de llenado.                                   |
|                                       |   |   | Adecuar sistemas de venteo. i.e. aprovechar botadores de pieza. |
| Snap-fits                             | Considerar fuerza de inserción de 50N.  | Aire atrapado (Llenado incompleto / material degradado) | Aumentar espesor.   |
|                                       |   |   | Reducir velocidad de llenado.                                   |
|                                       |   |   | Flujo balanceado.   |
|                                       |   |   | Evitar división de flujo de material.                           |
|                                       |   |   | Adecuar sistemas de venteo. i.e. aprovechar carros deslizantes. |
| Mamelones                             | *Zonas visibles:<br>Espesor < 40% de pared.<br><br>*Zonas no visibles:<br>Espesor < 60% de pared. | Rechupes mayores a 0.05 mm                              | Disminuir espesor.  |
|                                       |   |   | Aumentar presión de compactación.                               |
|                                       |   |   | Cambiar material por otro de mayor cristalinidad.               |
|                                       |   |   | Relocalizar puntos de inyección.                                |
|                                       |   | Aire atrapado   | Disminuir temperatura de polímero.                              |
|                                       |   |   | Aumentar espesor.   |

|         |   |   |  |
|---------|---|---|--|
|         |   | (Llenado incompleto / material degradado)                       | Reducir velocidad de llenado.<br>Flujo balanceado.<br>Evitar división de flujo de material.<br>Adecuar sistemas de venteo. i.e. aprovechar botadores de pieza. |
| Clips   | *Zonas visibles:<br>Espesor < 40% de pared.<br><br>*Zonas no visibles:<br>Espesor < 60% de pared. | Rechupes mayores a 0.05 mm                                      | Disminuir espesor.   |
|         |   |   | Aumentar presión de compactación.  |
|         |   |   | Cambiar material por otro de mayor cristalinidad.  |
|         |   |   | Relocalizar puntos de inyección.   |
|         |   |   | Disminuir temperatura de polímero.   |
|         | Aire atrapado (Llenado incompleto / material degradado)   | Aumentar espesor.   |  |
|         |   | Reducir velocidad de llenado.                                   |  |
|         |   | Flujo balanceado.   |  |
|         |   | Evitar división de flujo de material.                           |  |
|         |   | Adecuar sistemas de venteo. i.e. aprovechar carros deslizantes. |  |
| Canales | Para espesores de 1 mm mantener relación longitud-espesor menor de 80:1.                          | Llenado incompleto.   | Aumentar espesor.  |
|         |   |   | Disminuir longitud.  |
|         |   |   | Cambiar material por otro de mayor fluidez.  |

**Tabla 3. Guía de diseño para biseles plásticos.**

## 8. Validación

Par realizar la validación se modeló el bisel de la palanca de velocidades (Fig. 9). Se creó el modelo CAD tomando en cuenta las dimensiones y criterios recomendados por la guía de diseño (tabla 3). Las dimensiones se muestran en la tabla 4.



Fig. 9. Bisel de palanca de velocidades.


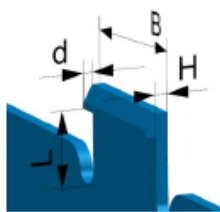

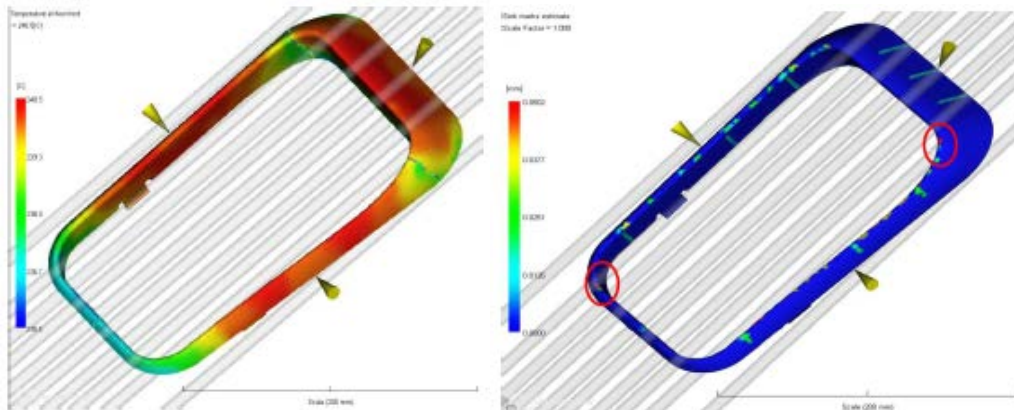
| Nombre   | Ilustración   | Diseño                |
|----------|---|-----------------------|
| Costilla |    | $t = 8 \text{ mm}$    |
| Snap fit |   | $d = 1.5 \text{ mm}$  |
|          |   | $L = 11.4 \text{ mm}$ |
|          |   | $H = 2 \text{ mm}$    |
| Clip     |  | $e = 8 \text{ mm}$    |

Tabla 4. Dimensiones de bisel.

Con el modelo CAD de la pieza se realizó la simulación de inyección. Se eligieron tres puntos de inyección (Fig. 10) a partir del análisis de resistencia al flujo. Las condiciones de la simulación fueron similares a las utilizadas para la pieza maestra: la temperatura del polímero y temperatura del molde se fijó en el punto medio de la recomendación del proveedor, el cambio de la etapa de llenado a empaquetamiento ocurre al 99% del llenado, con una presión de empaquetamiento del 80% de la presión de inyección.

El resultado de la simulación fue un tiempo de llenado de 1.41 s, con una variación de temperatura en el frente de flujo de 5°C durante la inyección. La densidad en la pieza es

uniforme, con un valor de  $0.891 \text{ g/cm}^3$ . De acuerdo con el perfil de presión resultante, la presión mínima necesaria de la máquina para llenar la pieza es de 24.87 MPa. La contracción máxima es de 3% y se localiza en el radio superior de la pieza (Fig. 10). El rechuce máximo es de 0.05 mm, valor máximo recomendado para considerar buena calidad. La deflexión máxima es de 1.714 mm, considerado como bajo.



**Fig. 10. Perfil de temperatura (izq.) y marcas de rechuce (der.).**

Con esta información se puede verificar que los resultados de la etapa de validación son coherentes con la información presentada en la guía de diseño para biseles, la cual permite diseñar un componente de buena calidad.

## 9. Conclusiones

Dada la necesidad de una guía formal de diseño de componentes plásticos, que prevea las características críticas de un componente tanto en función como en fabricación, se realizó este trabajo con el objetivo de desarrollar una guía en la que se recomienden los parámetros de diseño propios de los biseles, a partir de sus elementos más importantes. El valor de esta investigación radica en el potencial que tiene para su desarrollo y aplicación.

Como primera etapa se clasificaron los componentes plásticos del automóvil, identificando las características propias de cada familia. Se eligió la familia de biseles por la gran cantidad de componentes de este tipo presentes en el automóvil y por contener varios elementos presentes en otros grupos. Posteriormente se consultó en estudios y guías existentes que analizan elementos plásticos aislados, obteniendo información y recomendaciones de diseño para los elementos propios del bisel. A partir de la información recopilada se creó el modelo CAD de la pieza maestra, dividida en diferentes secciones con los mismos elementos pero diversos parámetros de diseño. Después se simuló el moldeo de la pieza maestra por inyección con el software Moldflow. Finalmente, considerando los resultados de la simulación y el resto de información recopilada, se creó la guía de diseño para biseles plásticos. Misma que fue validada con el diseño y simulación de un bisel para la palanca de cambios de un automóvil en particular. Los resultados fueron satisfactorios. En la siguiente figura (Fig. 11) se muestra el procedimiento sugerido para el uso de la guía para diseño de biseles.

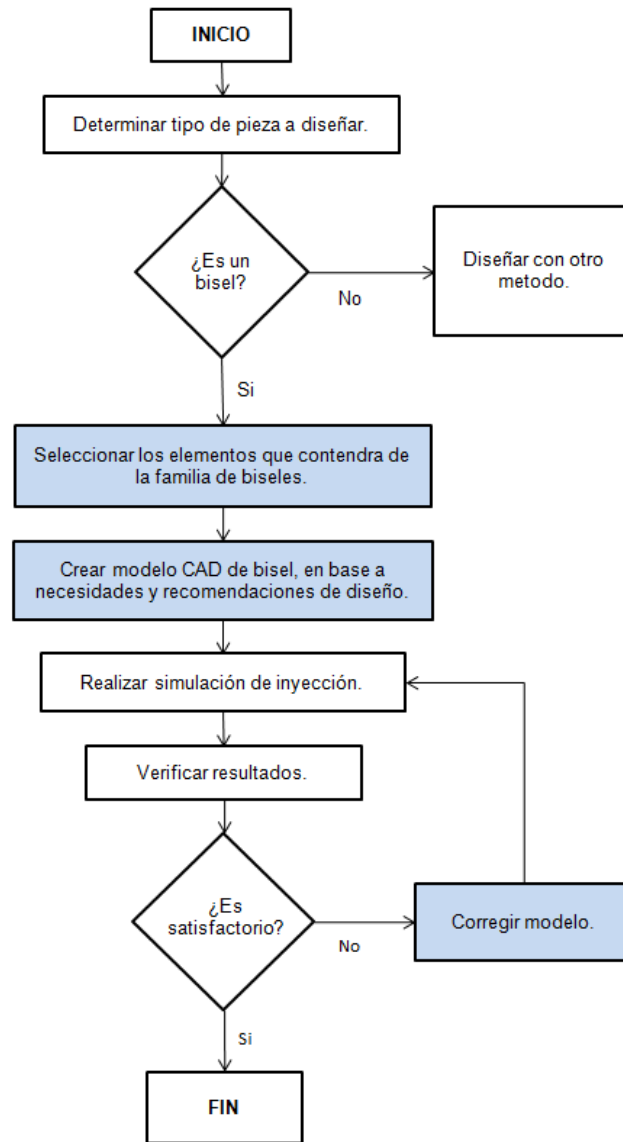


Fig. 11. Procedimiento sugerido para uso de guía de diseño para biseles.

## 6. Referencias

- [1] D. Ullman. The Mechanical Design Process. McGraw-Hill. USA. 2003.
- [2] M. El-Mehalawi. "A database system of mechanical components based on geometric and topological similarity. Part II: indexing, retrieval, matching and similarity assessment". Computer Aided Design. 35(1). 2003. 95-105.

- [3] D. E. Plastics. Design Guide. Performance And Value With Engineering Plastics. China. 2005.
- [4] R. Company. Design Imagineering. Guidelines for plastic Design. USA. 2000.
- [5] Bayer Corporation. Part and mold design. USA. 2000.
- [6] R. Malloy. Plastic Part Design for Injection Molding, Hanser. USA. 1994.
- [7] J. Potvin. "Maximal acceptable forces for manual insertions using pulp pinch, oblique grasp and finger press". *International Journal of Industrial Ergonomics*. 36(9). 2006. 779-787.