

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***PROYECTO DE DISEÑO DE UN MOLDE DE
INYECCIÓN DE PLÁSTICO PARA LA
PRODUCCIÓN DE UNA REJILLA FRONTAL
INFERIOR DE UN AUTOMÓVIL***

DOCUMENTO 4- ANEXO: SIMULACIONES Y CÁLCULOS

Alumno: ROYO LARREA, ARKAITZ

Director: LOBATO GONZALEZ, ROBERTO

Curso: 2017/2018

Fecha: 01/06/2018

INDICE

| | | |
|------------|---|----------|
| 4 | SIMULACIONES Y CÁLCULOS..... | 4 |
| 4.1 | CÁLCULOS..... | 4 |
| 4.1.1 | Datos de partida | 4 |
| 4.1.1.1 | Datos del material inyección | 4 |
| 4.1.1.2 | Ciclo de inyección..... | 5 |
| 4.1.2 | Simulación Moldflow | 6 |
| 4.1.2.1 | Análisis de llenado | 8 |
| 4.1.2.1.1 | Entradas de inyección y posición | 8 |
| 4.1.2.1.2 | Tiempo de inyección..... | 9 |
| 4.1.2.1.3 | Predicción de la calidad | 11 |
| 4.1.2.1.4 | Presión | 11 |
| 4.1.2.1.5 | Rechupes..... | 13 |
| 4.1.2.1.6 | Atrapamientos de aire | 14 |
| 4.1.2.1.7 | Líneas de unión | 14 |
| 4.1.2.1.8 | Temperatura en el frente de flujo..... | 15 |
| 4.1.2.2 | Análisis Moldflow térmico..... | 16 |
| 4.1.2.2.1 | Diseño canales de refrigeración..... | 16 |
| 4.1.2.2.2 | Temperatura pieza | 18 |
| 4.1.2.2.3 | Presión en circuito refrigeración..... | 19 |
| 4.1.2.2.4 | Temperatura del refrigerante | 20 |
| 4.1.2.2.5 | Variación de temperatura..... | 20 |
| 4.1.2.2.6 | Calidad de refrigeración | 21 |
| 4.1.2.3 | Deformaciones..... | 22 |
| 4.1.2.4 | Tiempo total de ciclo..... | 24 |
| 4.1.2.5 | Resumen simulación Moldflow | 25 |
| 4.1.2.6 | Otras simulaciones..... | 26 |
| 4.1.2.6.1 | Simulación 2: Material molde CoBe | 26 |
| 4.1.2.6.2 | Simulación 3: Temperatura refrigerante | 27 |
| 4.1.3 | Cálculos mecánicos..... | 28 |
| 4.1.3.1 | Fuerza de cierre | 28 |
| 4.1.3.2 | Resistencia frente al pandeo expulsores | 29 |

Listado de imágenes

| | |
|--|----|
| Imagen 1. Datos de partida: CAD cliente. | 4 |
| Imagen 2. Diagrama ciclo de inyección..... | 5 |
| Imagen 3. Dirección desmoldeo pieza (Eje Z)..... | 6 |
| Imagen 4. Introducción sistema de alimentación y refrigeración. | 6 |
| Imagen 5. Parámetros proceso | 7 |
| Imagen 6. Modelo sistema cámara caliente. | 8 |
| Imagen 7. Distribución puntos de inyección. | 8 |
| Imagen 8. Tiempo de llenado 0[s]. | 9 |
| Imagen 9. Tiempo de llenado 3.42[s] | 9 |
| Imagen 10. Tiempo de llenado 5.48[s] | 10 |
| Imagen 11. Confianza de llenado. | 10 |
| Imagen 12. Predicción de calidad | 11 |
| Imagen 13. Caída de presión. | 11 |
| Imagen 14. Presión de inyección | 12 |
| Imagen 15. Gráfico presiones de mantenimiento. | 12 |
| Imagen 16. Rechupes. | 13 |
| Imagen 17. Rechupes. | 13 |
| Imagen 18. Atrapamientos de aire. | 14 |
| Imagen 19. Líneas de unión o soldadura. | 14 |
| Imagen 20. Temperatura en el frente de flujo..... | 15 |
| Imagen 21. Modelo sistema de refrigeración..... | 16 |
| Imagen 22. Diseño canales de refrigeración en molde. | 17 |
| Imagen 23. Dimensionamiento canales refrigeración..... | 17 |
| Imagen 24. Temperatura refrigerante..... | 18 |
| Imagen 25. Temperatura media pieza..... | 18 |
| Imagen 26. Presión circuito refrigeración | 19 |
| Imagen 27. Caudal circuito refrigeración. | 19 |
| Imagen 28. Temperatura refrigerante del circuito..... | 20 |
| Imagen 29. Variación de temperatura. | 20 |
| Imagen 30. Calidad de la refrigeración..... | 21 |
| Imagen 31. Deformaciones todos los efectos..... | 22 |
| Imagen 32. Indicador deformación todos los efectos. | 22 |
| Imagen 33. Indicador deformación debido a refrigeración..... | 23 |
| Imagen 34. Indicador deformación debido a contracción | 23 |
| Imagen 35. Tiempo total de ciclo..... | 24 |
| Imagen 36. Temperatura pieza con CoBe..... | 26 |
| Imagen 37. Temperatura pieza modificando temperatura refrigerante..... | 27 |

Listado de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Resultados simulación Moldflow | 25 |
|---|----|

4 SIMULACIONES Y CÁLCULOS

4.1 CÁLCULOS

Por lo que respecta a los cálculos realizados para el diseño del molde, se diferencia tres apartados: análisis de llenado, análisis térmico y cálculos mecánicos. Los dos primeros, se han realizado a través de un análisis de elementos finitos mediante el software de simulación Moldflow, mientras que los cálculos mecánicos se han llevado a cabo aplicando conceptos de elasticidad y resistencia de materiales.

4.1.1 Datos de partida

Como dato de partida se tiene el CAD 3D facilitado por el cliente para proceder con el diseño del molde de inyección, así como de las condiciones específicas que se recogen en la ficha de especificaciones del molde. Esta hoja recoge datos relacionados con la construcción del molde, materiales, máquina de inyección entre otros.

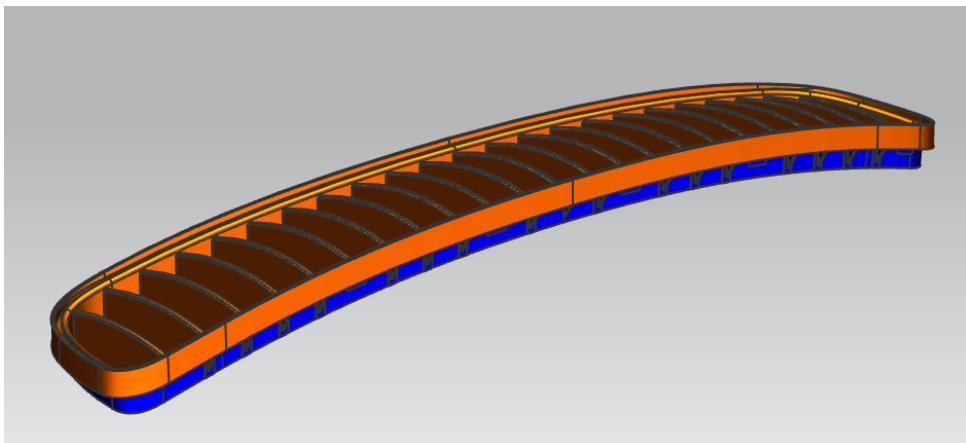


Imagen 1. Datos de partida: CAD cliente.

4.1.1.1 Datos del material inyección

- Material inyección: ABS
- Fabricante: CMOLD
- Volumen pieza: 554.2538 cm³
- Contracción longitudinal/transversal flujo: 0.5%
- Número de cavidades: 1
- Temperatura de molde: 50°C
- Temperatura de fusión: 230°C
- Temperatura de desmoldeo: 88°C
- Conductividad térmica: 0.18 W/m·C (226.85 °C)
- Capacidad calorífica específica: 2400 J/Kg·C (226.85 °C)

4.1.1.2 Ciclo de inyección

El proceso de inyección está formado por varias etapas secuenciadas unas tras otras. Partiendo de la situación inicial, en la cual el molde se encuentra abierto, la unidad de inyección retrasada con la dosis par el ciclo de inyección, las fases son las siguientes:

1. Cierre de molde
2. Aproximación unidad de inyección a molde
3. Inyección de la masa plástica (Tiempo de inyección)
4. Presión de mantenimiento
5. Plastificación (Tiempo de refrigeración)
6. Retroceso unidad de inyección
7. Apertura del molde y expulsión de la pieza

En el siguiente diagrama se muestra las diferentes fases del proceso, así como el tiempo de cada una de ellas:

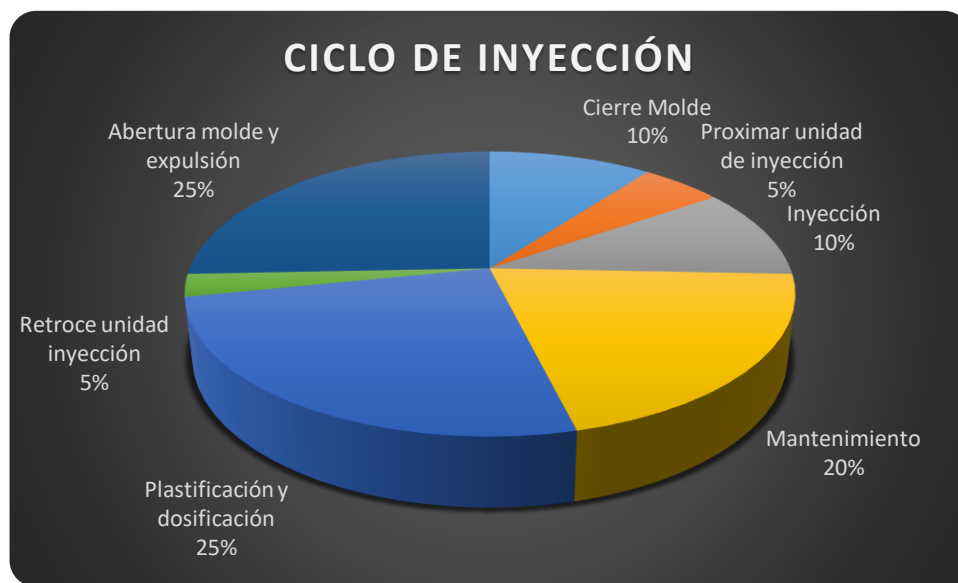


Imagen 2. Diagrama ciclo de inyección

4.1.2 Simulación Moldflow

El primer paso previo al análisis es establecer la dirección de desmoldeo principal de la pieza, en general se establece el eje Z de la pieza. Este eje es paralelo a todas las superficies que generan una contrasalida, permitiendo su desmoldeo durante la apertura del molde.

Es importante este paso, ya que la fuerza de cierre resultado del análisis la establece en esta dirección z, así como todos los resultados referentes a las deformaciones.

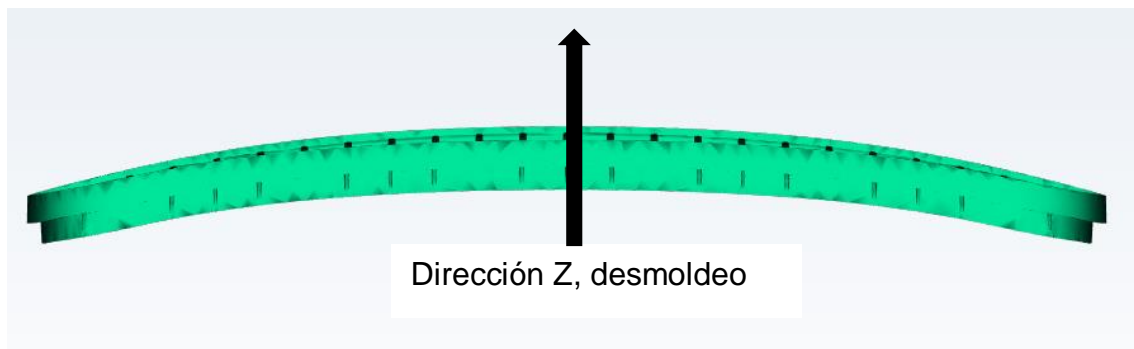


Imagen 3. Dirección desmoldeo pieza (Eje Z)

Después se deben de introducir los bloques correspondientes al acero de los semimoldes y realizar el diseño del modelo aproximado de la cámara caliente y el sistema de refrigeración.

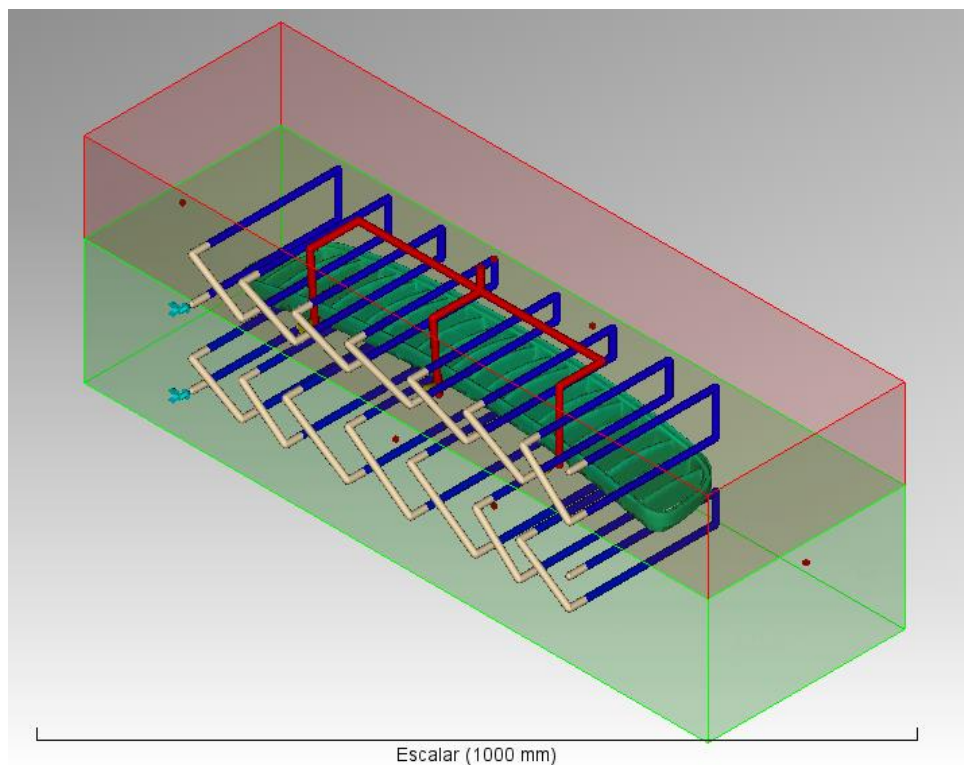


Imagen 4. Introducción sistema de alimentación y refrigeración.

Una vez generados los canales de refrigeración y alimentación se proceden a introducir los parámetros del proceso, así como el perfil de la simulación. Se realizará una secuencia de simulación de llenado, compactación y refrigeración estableciendo para ello los siguientes parámetros:


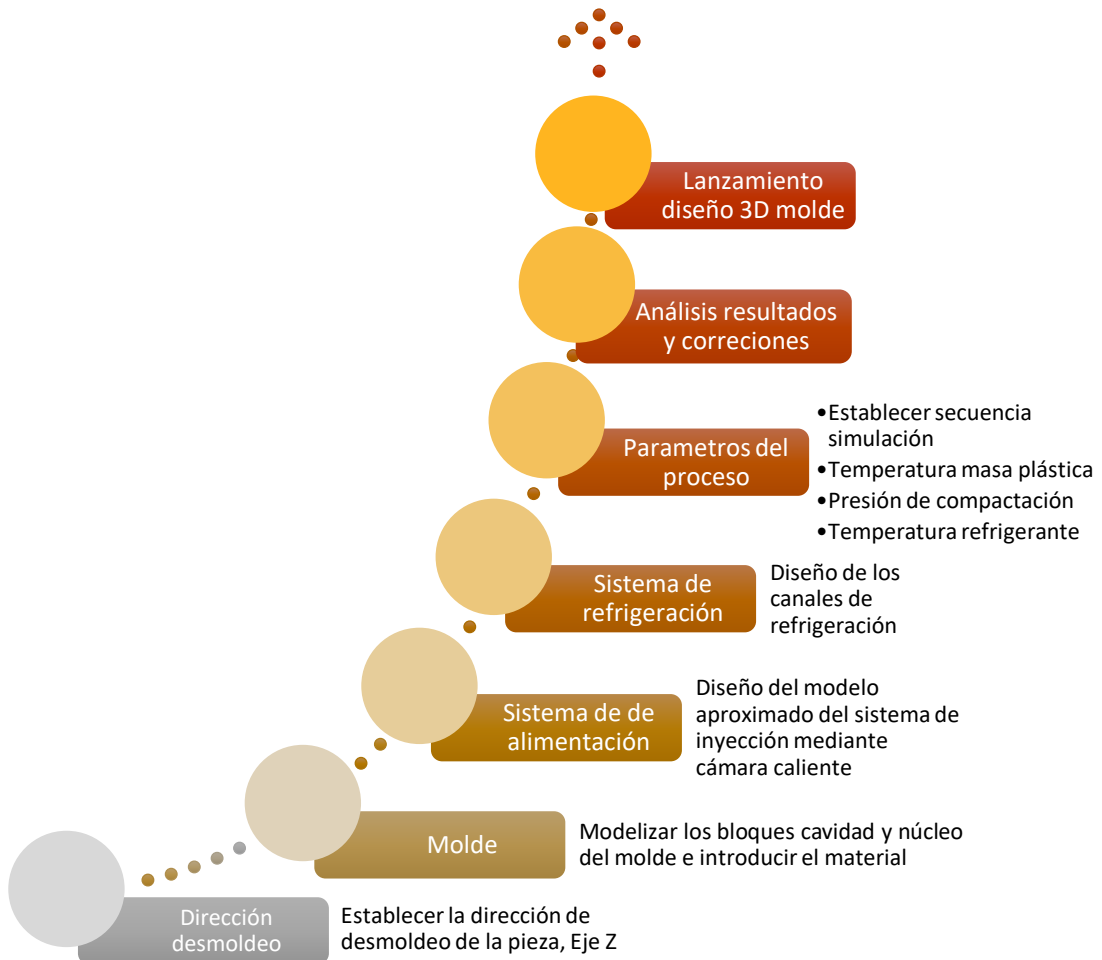
| Material | |
|---|---|
| Fabricante del material | CMOLD Generic Estimates |
| Nombre comercial del material | ABS Generic Estimates |
| Impacto medioambiental |  |
| Temperatura de masa fundida | |
| Temperatura de masa fundida | 230.0 (C) |
| Temperatura del molde | 50.0 (C) |
| Puntos de inyección | 3 |
| Presión máxima de inyección de la máquina | 180.000 (MPa) |
| Tiempo de inyección seleccionado | Automático |
| Conmutación velocidad/presión | Automático |
| Perfil de compactación | |
| Tiempo (s) | % presión al final del llenado |
| 0.00 | 80.00 |
| 10.00 | 80.00 |
| Tiempo de refrigeración | |
| Tiempo de refrigeración | Automático |
| Tiempo de máquina con molde abierto | 10.00 (s) |

Imagen 5. Parámetros proceso

En el siguiente gráfico se las etapas del proceso de simulación:



4.1.2.1 Análisis de llenado

Esta fase tiene como objetivo la realización de un modelo de llenado de la pieza. Este análisis mediante elementos finitos se realiza con el software de simulación Moldflow. Dado que el sistema de llenado es mediante cámara caliente se realizará un modelo aproximado de esta.

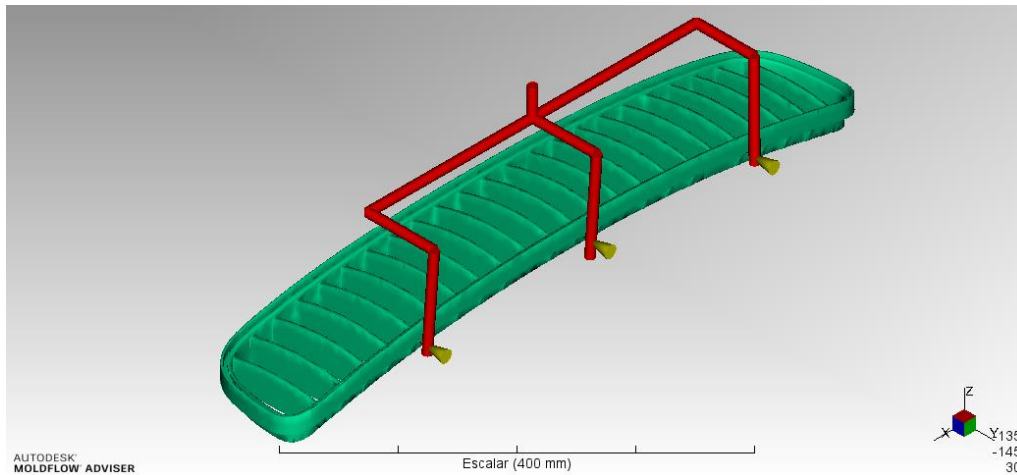


Imagen 6. Modelo sistema cámara caliente.

4.1.2.1.1 Entradas de inyección y posición

El número de entradas y su posición viene determinada en gran medida por la geometría de la pieza, así como de las especificaciones técnicas del material a inyectar.

Tras las diversas simulaciones realizadas, se ha optado por el llenado mediante tres entradas de inyección, una ubicada en el centro y las otras dos simétricas respecto al plano central de la pieza. De esta manera se obtiene un llenado uniforme y equilibrado.

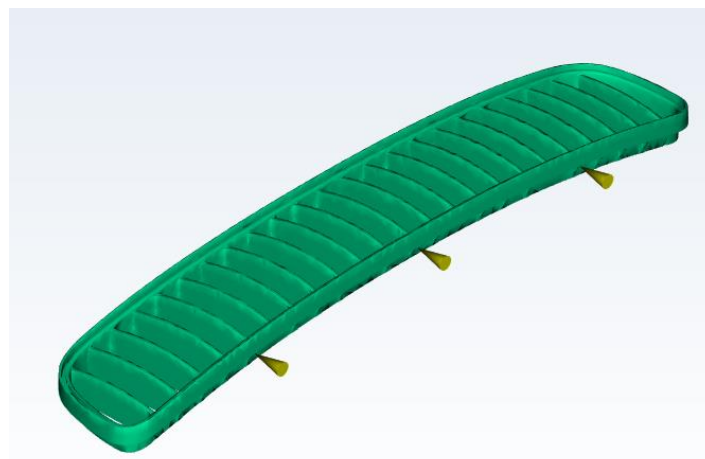


Imagen 7. Distribución puntos de inyección.

4.1.2.1.2 Tiempo de inyección

Dada la simetría de la pieza y distribución del sistema de alimentación se consigue un llenado equilibrado. Se obtiene un llenado completo de la pieza en 5.48 [s].

En la siguiente secuencia de imágenes se muestra la simulación de llenado desde el instante 0 [s] hasta 5.48 [s] donde la pieza se encuentra completamente llena.

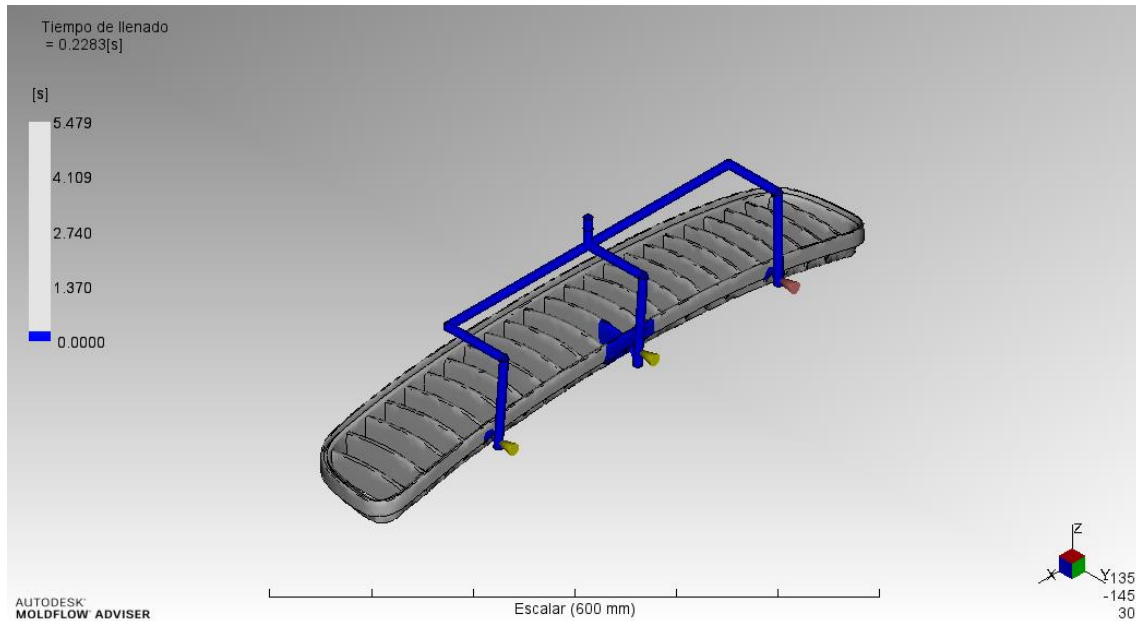


Imagen 8. Tiempo de llenado 0[s].

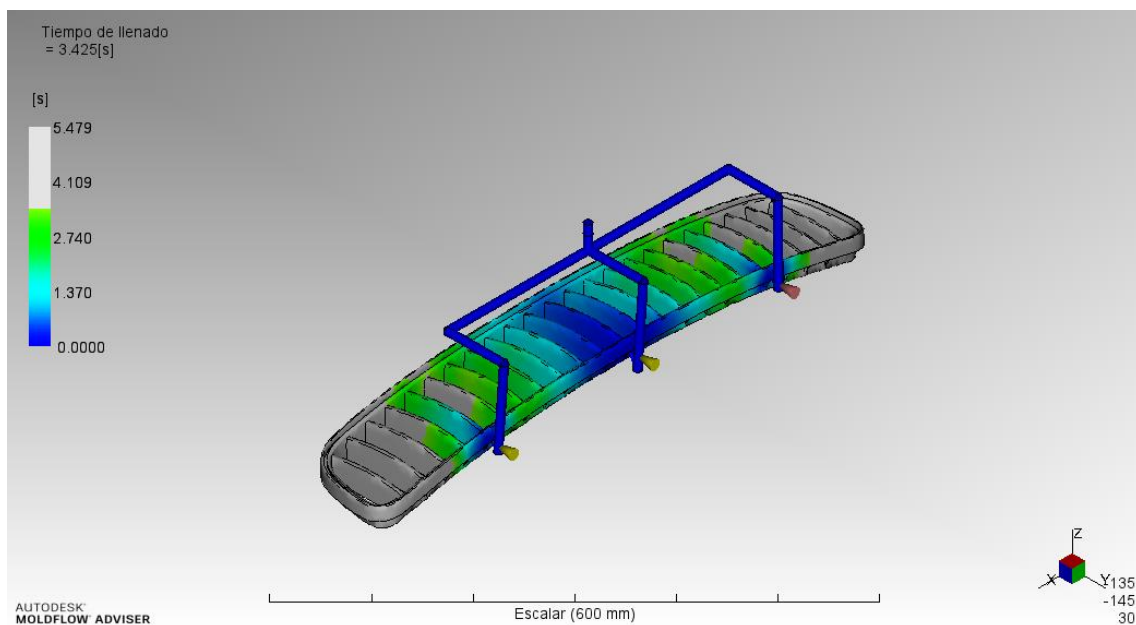


Imagen 9. Tiempo de llenado 3.42[s]

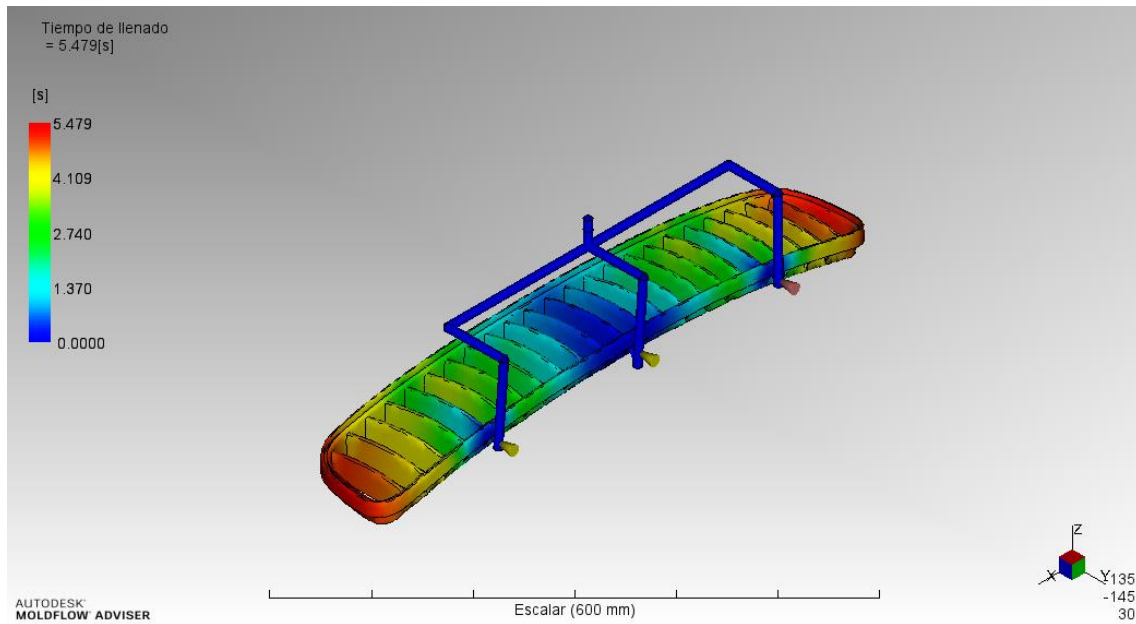


Imagen 10. Tiempo de llenado 5.48[s]

Los resultados arrojados por el software de simulación indican una confianza de llenado completa.

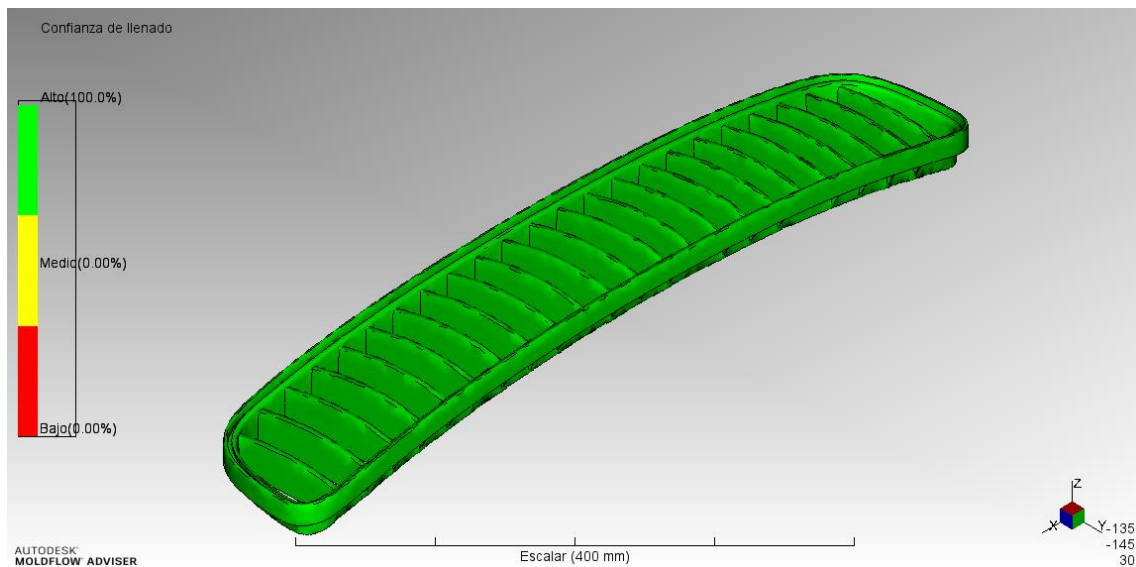


Imagen 11. Confianza de llenado.

4.1.2.1.3 Predicción de la calidad

Se obtiene un nivel de calidad de la pieza correcto ya que más del 65% de las superficies tiene una calidad alta por lo que no se presentan problemas en el llenado.

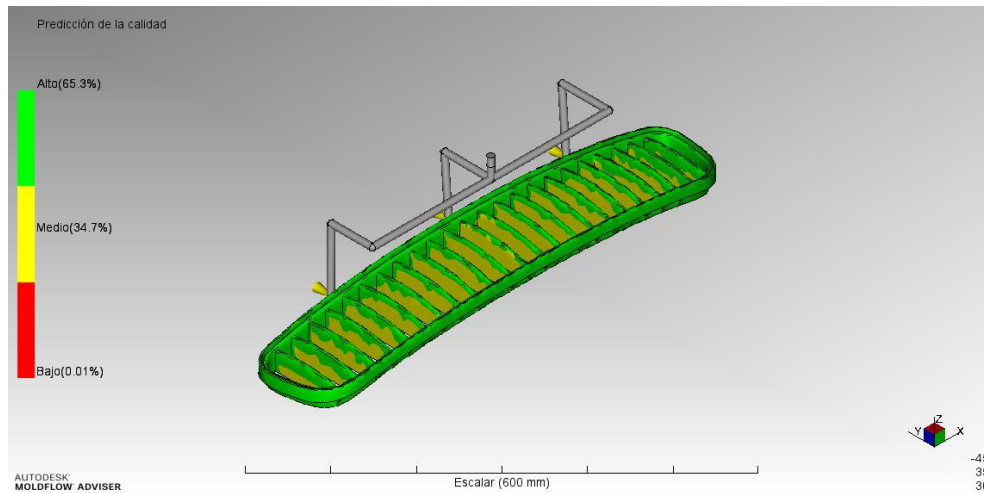


Imagen 12. Predicción de calidad

4.1.2.1.4 Presión

La transferencia del material del cilindro al molde se efectúa en dos etapas o fases: 1ª fase (llenado) y 2ª fase (mantenimiento). La presión de primera fase es la diferencia de presión que se debe de vencer para llenar correctamente la cavidad. Se debe de programar una presión mayor que la necesaria en la unidad de inyección para correcto llenado del molde. El resultado obtenido por la primera presión es de 74 [MPa]. En esta primera fase la cantidad de material plástico transferido es de un 99% del volumen de cavidad, el material restante se transfiere en la segunda fase.

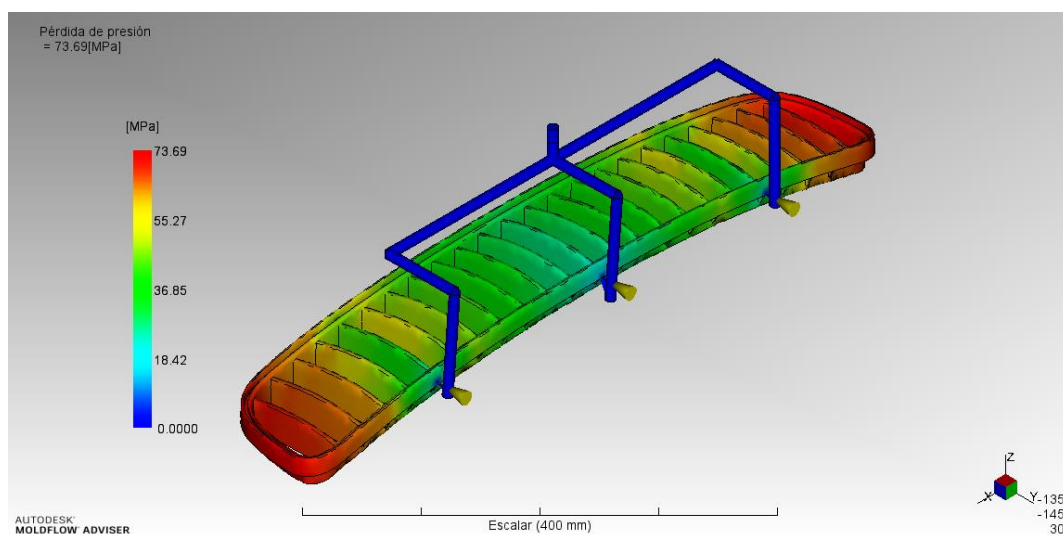


Imagen 13. Caída de presión.

La presión de primera fase no debe confundirse con la presión de inyección que va desde un valor máximo en las entradas de inyección hasta un valor nulo en los extremos de la pieza.

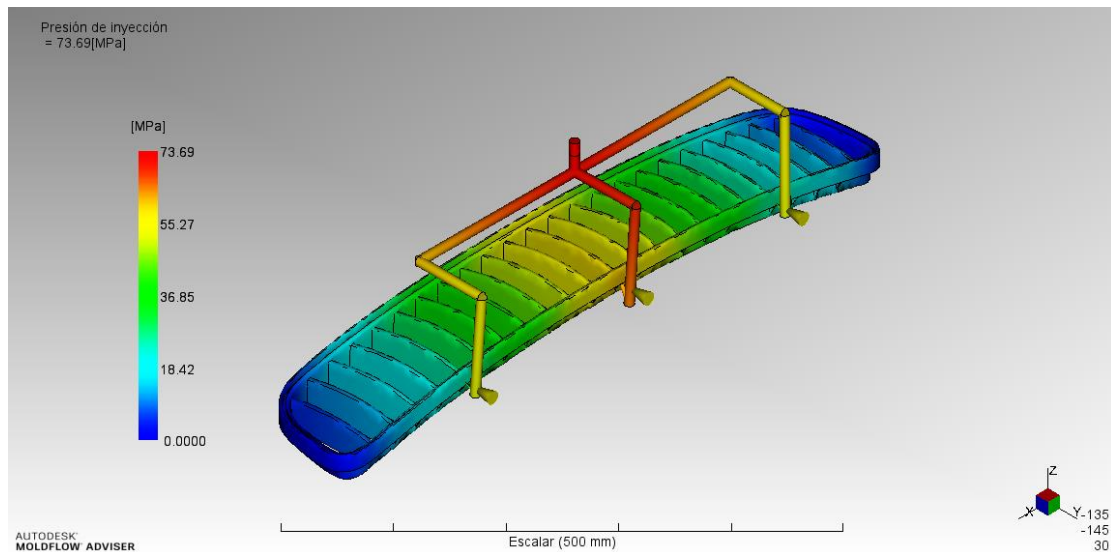


Imagen 14. Presión de inyección

Por otro lado, la presión de mantenimiento o de segunda fase tiene como objetivo obtener piezas compactadas con dimensiones y masa requeridas. El cambio entre la presión de inyección o de primera fase y la segunda se denomina conmutación. Al cambiar de fase se produce una presurización en la cavidad y una redistribución de las presiones en la misma. La función de la presión de mantenimiento es compensar por un lado la contracción volumétrica que experimenta el plástico al enfriarse y evitar su vuelta al husillo de inyección. La presión de mantenimiento tiene un valor inferior a la presión de inyección.

En este caso se ha programado una presión de mantenimiento del 80% de la presión de inyección durante un tiempo de 10 [s], por tanto, la presión de mantenimiento tiene un valor de 58.954 [MPa] como se observa en la siguiente imagen.

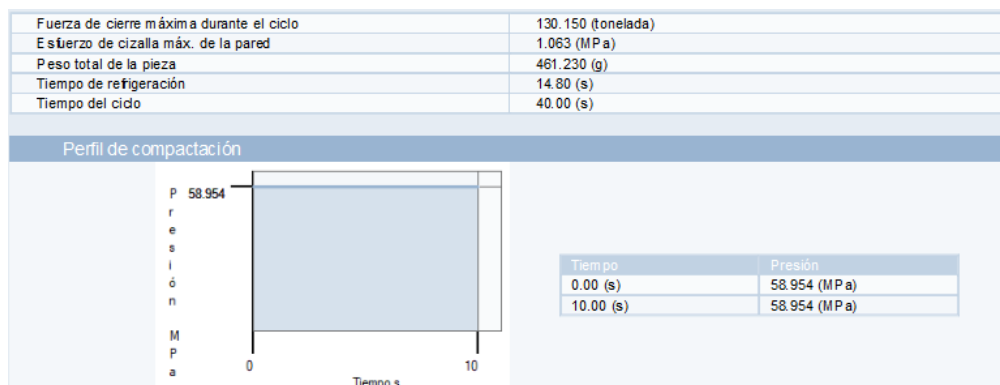


Imagen 15. Gráfico presiones de mantenimiento.

Por último, se debe de tener en cuenta la fuerza de cierre máxima durante el proceso de inyección. En este caso el resultado obtenido es de 130.150 [Tn], por lo que la unidad de cierre de la máquina debe de ser superior a este valor para garantizar que el molde no se abre durante el proceso.

4.1.2.1.5 Rechupes

La simulación realizada no muestra rechupes reseñables en zonas vistas de la pieza, tal y como se muestra en la imagen

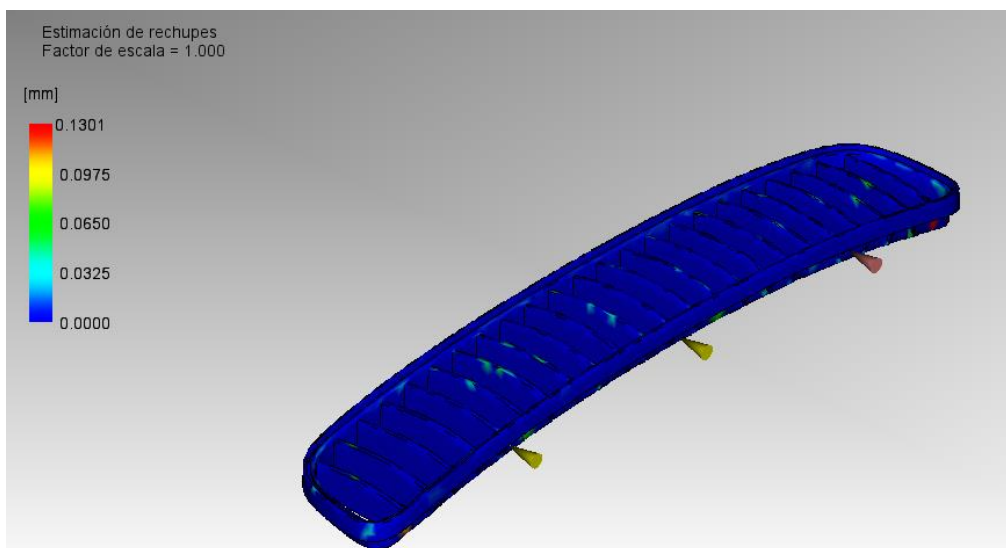


Imagen 16.Rechupes.

La aparición de rechupes se debe a zonas donde se produce un cambio notable de espesor, por ejemplo, en los nervios diseñados para dar rigidez a la pieza donde se pasa de un espesor mayor a una pared menor.

La simulación determina que menos del 1% (0.37%) del total de la pieza tendrá rechupes con una profundidad máxima de 0.13 mm

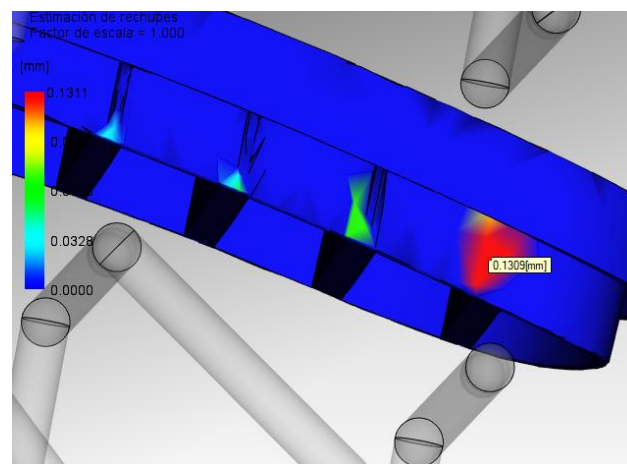


Imagen 17.Rechupes.

4.1.2.1.6 Atrapamientos de aire

Los atrapamientos de aire o gas suelen aparecer en zonas como patillas y torretas, para ello se disponen de geometrías que permitan eliminar estos gases sin permitir el paso del material. Estos gases generan defectos estéticos o quemaduras, para ellos se mecanizan geometrías que permitan la fuga de estos, denominadas fugas de gases.

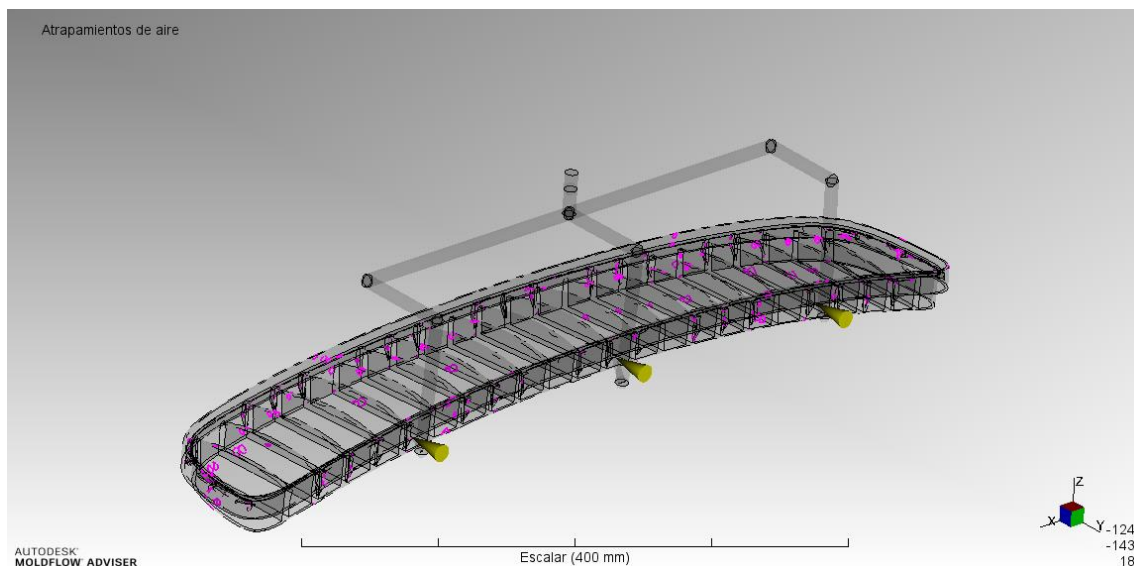


Imagen 18. Atrapamientos de aire.

4.1.2.1.7 Líneas de unión

Las líneas de unión o soldadura se producen en zonas donde se encuentran dos flujos de masa plástica que al enfriarse producen una línea visible que condiciona el acabado estético del producto final.

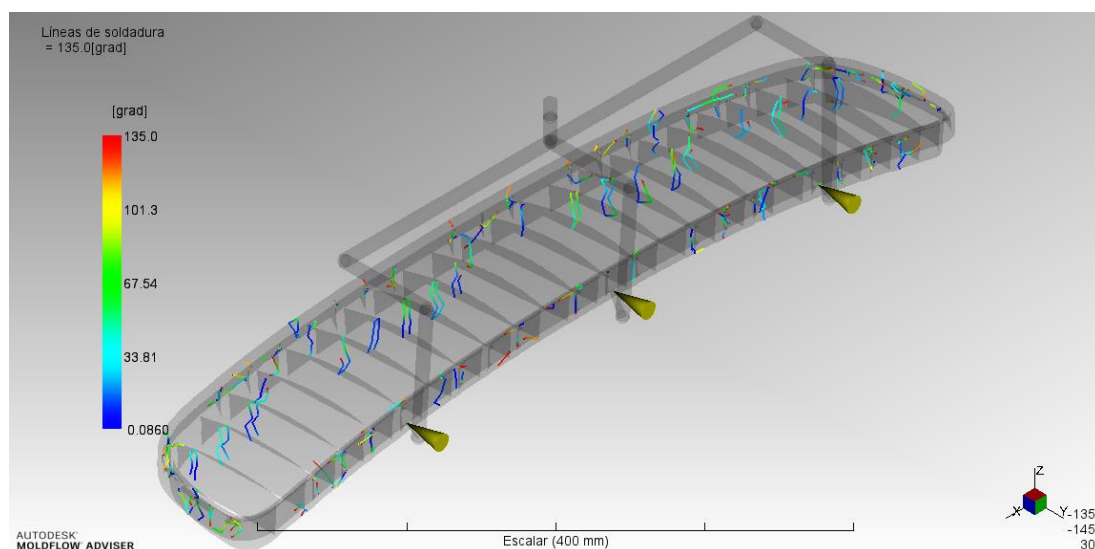


Imagen 19. Líneas de unión o soldadura.

Las líneas de soldadura que aparecen en la pieza vienen condicionadas por la distribución de las entradas de inyección y se deben de analizar junto con la animación de análisis de llenado, para observar cómo se comporta el flujo durante el llenado. Los resultados muestran que estas líneas aparecen en las superficies laterales de las barretas centrales por lo que no afectan a la superficie vista de la pieza.

Una solución para controlar o reducir la aparición de las líneas de soldadura es la utilización de un sistema de inyección secuencial, donde se controla cada entrada de inyección mediante el uso de electroválvulas. De este modo se inicia la inyección por la boquilla central y a medida que la masa plástica avanza y pasa por el resto de las boquillas estas se activan. Por el contrario, este sistema de llenado es más costoso.

4.1.2.1.8 Temperatura en el frente de flujo

La temperatura en el frente de flujo muestra la temperatura del plástico cuando el frente de flujo alcanza un punto especificado, en el centro de la sección transversal del plástico.

Como se observa en la imagen este resultado se mantiene homogéneo durante la fase de llenado. Una temperatura en el frente de flujo no homogénea con mayores saltos indica que el tiempo de inyección de la pieza es corto.

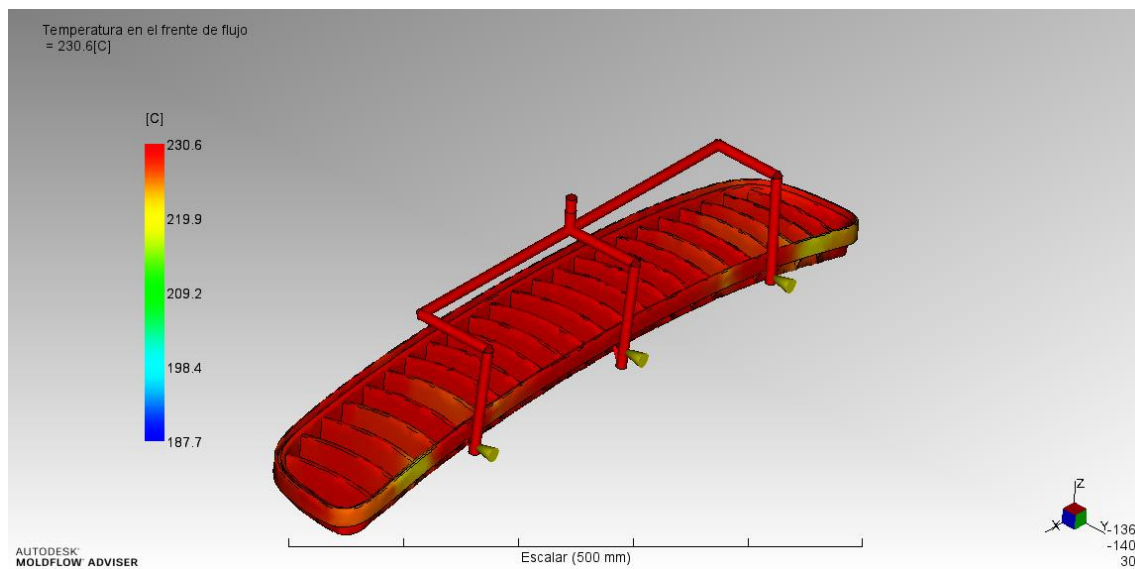


Imagen 20. Temperatura en el frente de flujo.

4.1.2.2 Análisis Moldflow térmico

Esta etapa tiene como objetivo la verificación de un diseño adecuado de los canales de refrigeración, desde el punto de vista geométrico determinando su diámetro y distribución para una correcta extracción de calor de la pieza moldeada, así como su posibilidad de ejecución, es decir, la factibilidad del posterior mecanizado y la no interferencia con el resto de elementos del molde.

Al igual que el análisis de llenado se lanza una simulación mediante Moldflow.

4.1.2.2.1 Diseño canales de refrigeración

El diseño de los canales de refrigeración no solo debe garantizar una correcta extracción de calor de la pieza, sino que deben de facilitar las operaciones posteriores de mecanizado de dichos canales.

La refrigeración de esta pieza se ha realizado con ocho canales paralelos entre sí. Tanto los canales del núcleo como de la cavidad, únicamente tienen una entrada y salida de refrigerante. Para facilitar las operaciones de mecanizado las entradas y salidas de los canales se encuentran puenteados, formando un circuito de refrigeración en serie, únicamente se dispone de una entrada para el refrigerante en cada de uno de los semimoldes.

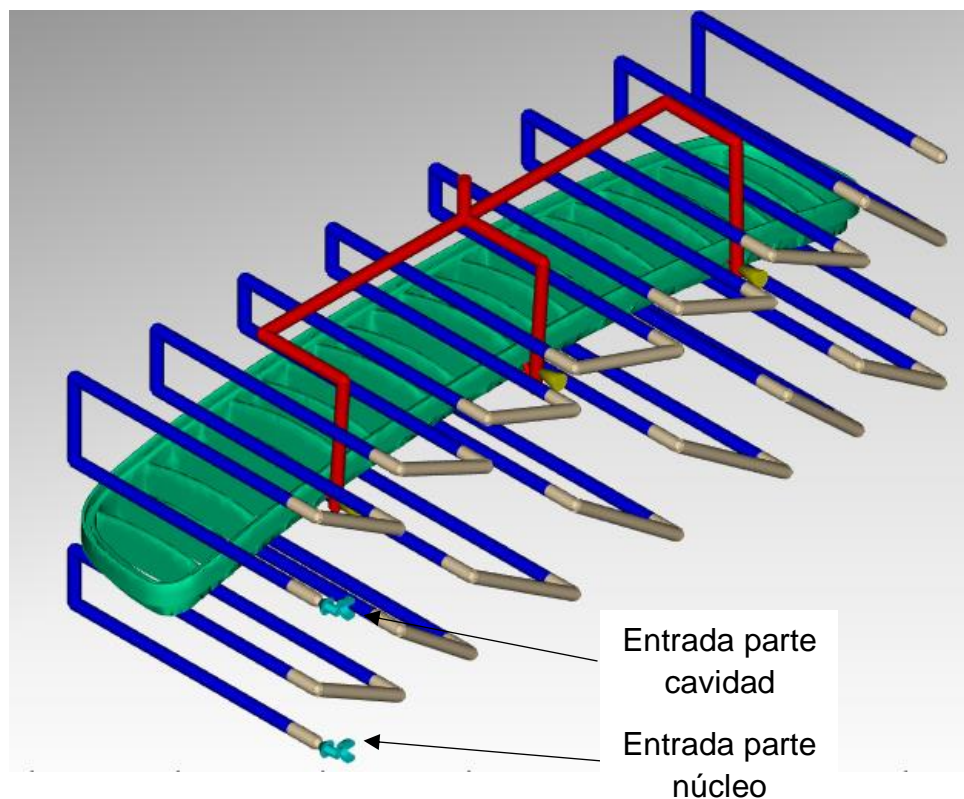


Imagen 21. Modelo sistema de refrigeración.

En la siguiente imagen se muestra el diseño del sistema de refrigeración en el molde de inyección.

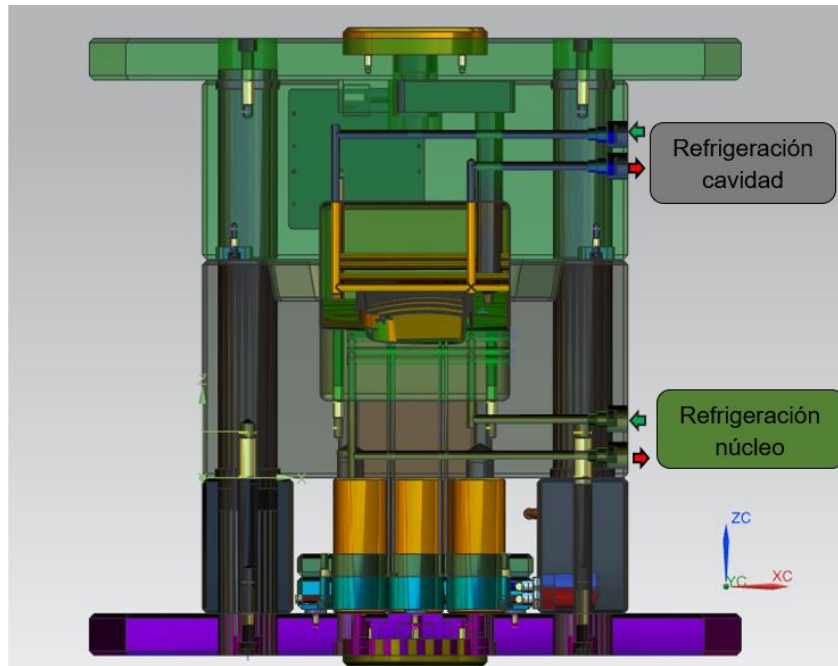


Imagen 22. Diseño canales de refrigeración en molde.

Los canales de refrigeración se colocan aproximadamente a 25 mm de las superficies de la pieza (A), siendo 2,5 veces el diámetro del canal de refrigeración. La distancia (B) entre dos canales de refrigeración debe ser inferior a 100mm.

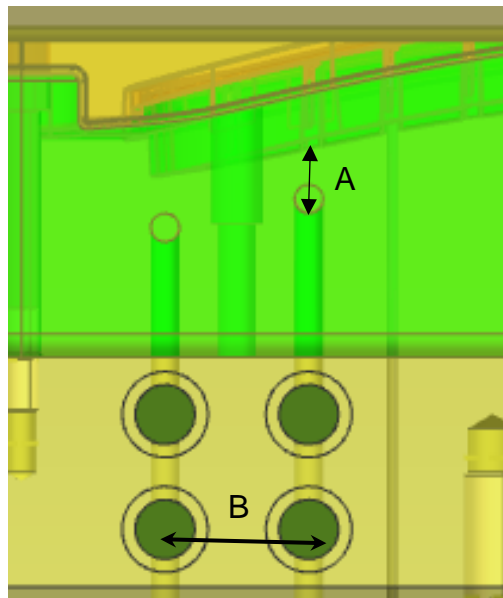


Imagen 23. Dimensionamiento canales refrigeración

Una vez se han generado los canales de refrigeración se deben de establecer las entradas del refrigerante, así como el caudal y la temperatura de este. Para ambos lados se ha introducido como refrigerante agua, a 25°C y un caudal de 10 l/min.

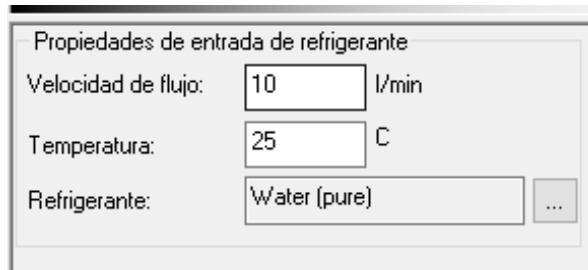


Imagen 24. Temperatura refrigerante.

4.1.2.2 Temperatura pieza

La temperatura de la pieza debe ser lo más homogénea posible para obtener una calidad óptima. En este caso se ha obtenido una temperatura media en pieza de 61.8 °C, por lo que el sistema de refrigeración es correcto.

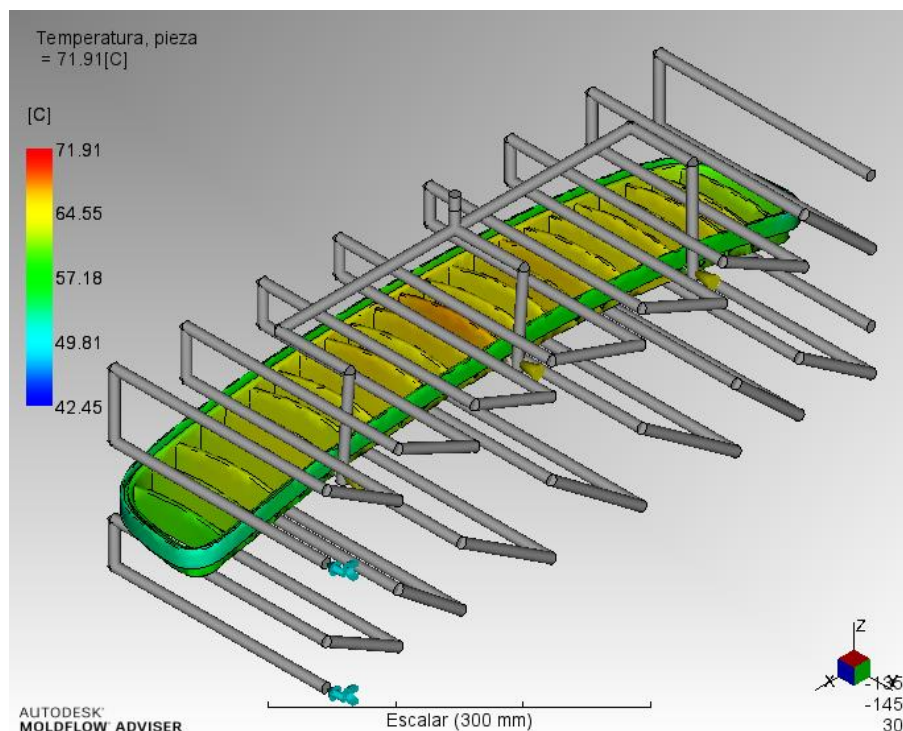


Imagen 25. Temperatura media pieza

No obstante, se alcanza un valor de temperatura mayor en la zona central ya que no se disponen de canales de refrigeración próximos debido a que interferirían con los expulsores y el sistema de alimentación.

4.1.2.2.3 Presión en circuito refrigeración

Los atemperadores del molde de inyección se emplean para mantener la temperatura de éste constante. Generalmente, se dispone de un atemperador individual para el refrigerante de la cavidad y otro para el núcleo. Por tanto, los resultados obtenidos en la simulación se deben de contrastar con las curvas de caudal presión del fabricante de los atemperadores para saber si cumplen con los requisitos.

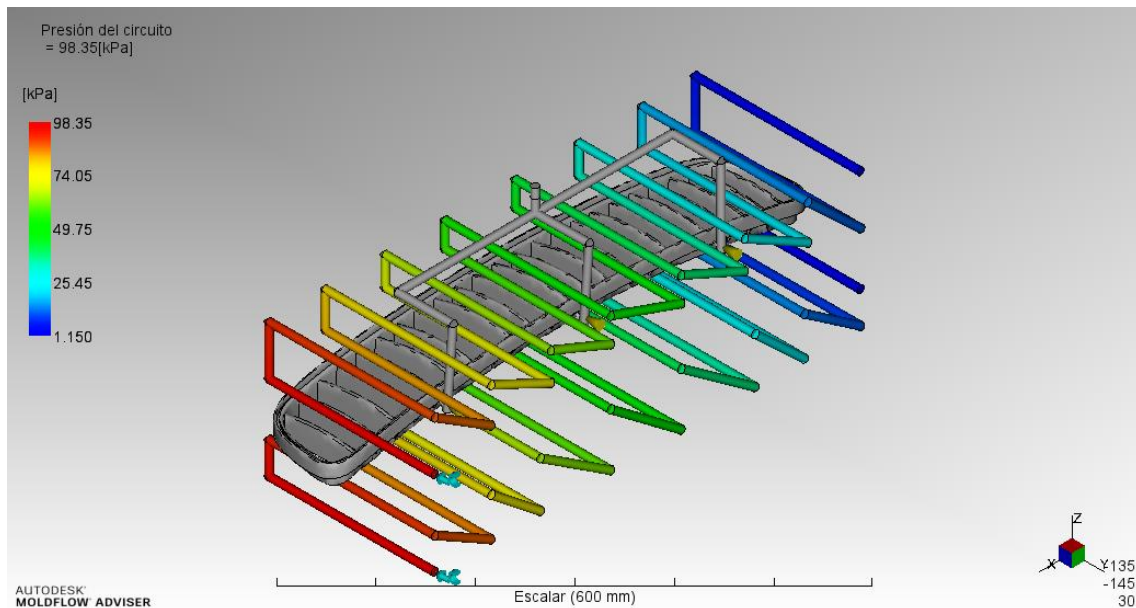


Imagen 26.Presión circuito refrigeración

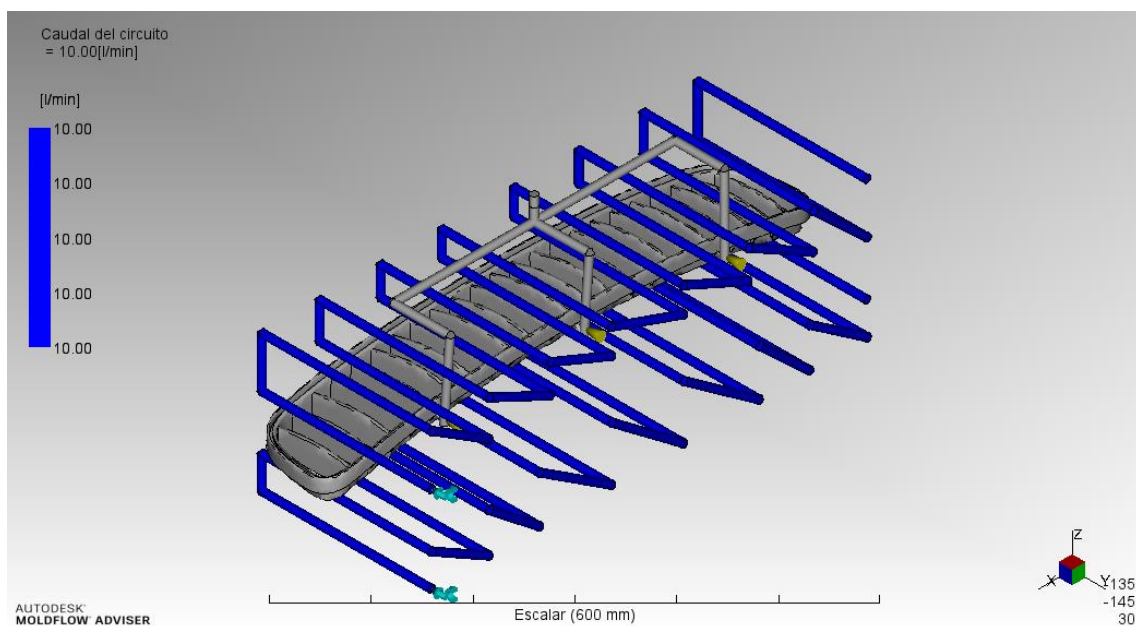


Imagen 27.Caudal circuito refrigeración.

4.1.2.2.4 Temperatura del refrigerante

La diferencia entre la temperatura de entrada del refrigerante y salida es de 3°C, esto indica que el rango de temperaturas del molde no es amplio y se obtiene una temperatura homogénea.

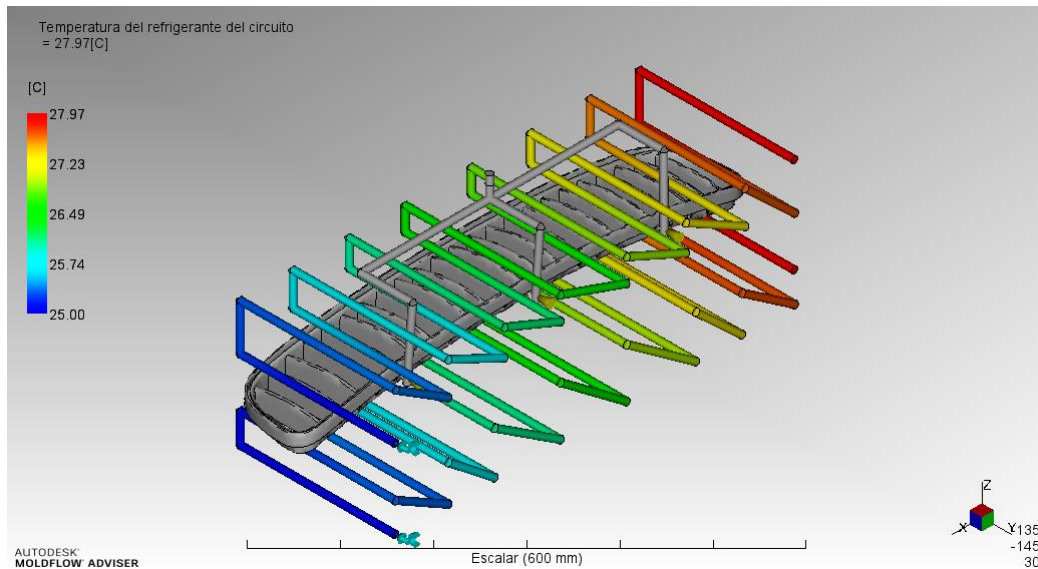


Imagen 28. Temperatura refrigerante del circuito.

4.1.2.2.5 Variación de temperatura

Para una correcta refrigeración la temperatura durante el ciclo debe de mantenerse lo más homogénea posible. Como parámetro indicativo no se debe de superar una diferencial de temperaturas en los distintos puntos de la pieza de 10 °C. En este análisis la mayor varianza de temperatura es de 4,6°C.

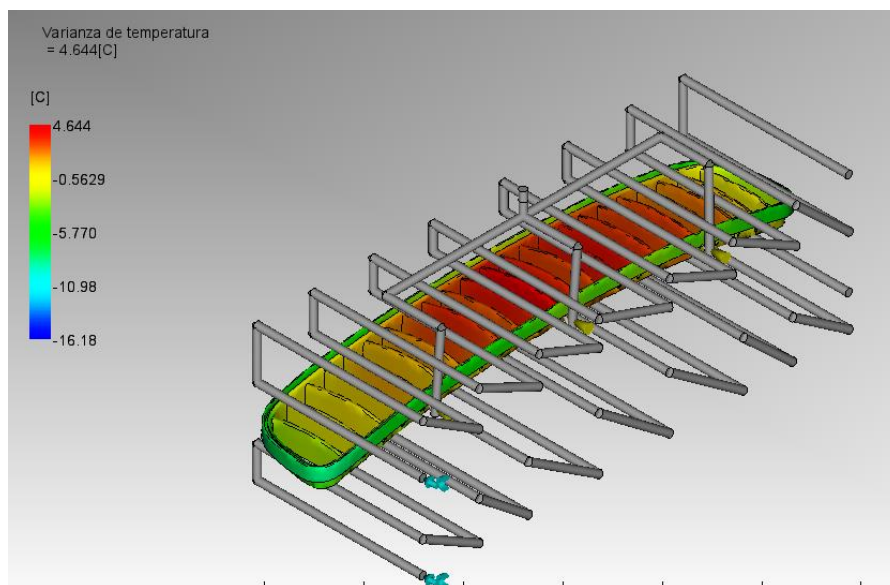


Imagen 29. Variación de temperatura.

4.1.2.2.6 Calidad de refrigeración

Los resultados obtenidos respecto a la calidad de la refrigeración indican las posibles zonas calientes o difíciles de evacuar calor debido a su forma y espesor.

Se obtienen una calidad de refrigeración alta superior al 81.6% del total de toda la pieza. Como se observa las superficies con mayor calidad son las que se encuentran más próximas a los canales de refrigeración y son las caras vista de la pieza.

Las paredes exteriores tendrán una calidad de refrigeración inferior, esto es debido a que son paredes finas y difíciles de refrigerar.

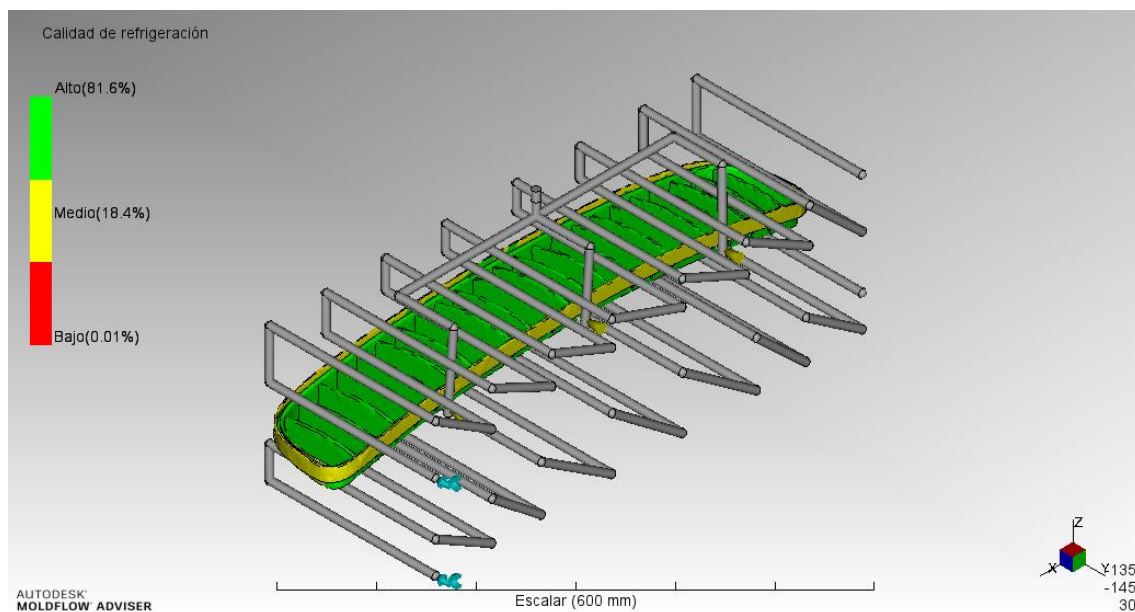


Imagen 30. Calidad de la refrigeración.

4.1.2.3 Deformaciones

Las deformaciones obtenidas no son de gran magnitud salvo en los extremos de la pieza debido a la contracción del material. En las siguientes imágenes se muestran las deformaciones de todos los efectos en conjunto, así como de las deformaciones individuales de cada análisis (refrigeración y contracción).

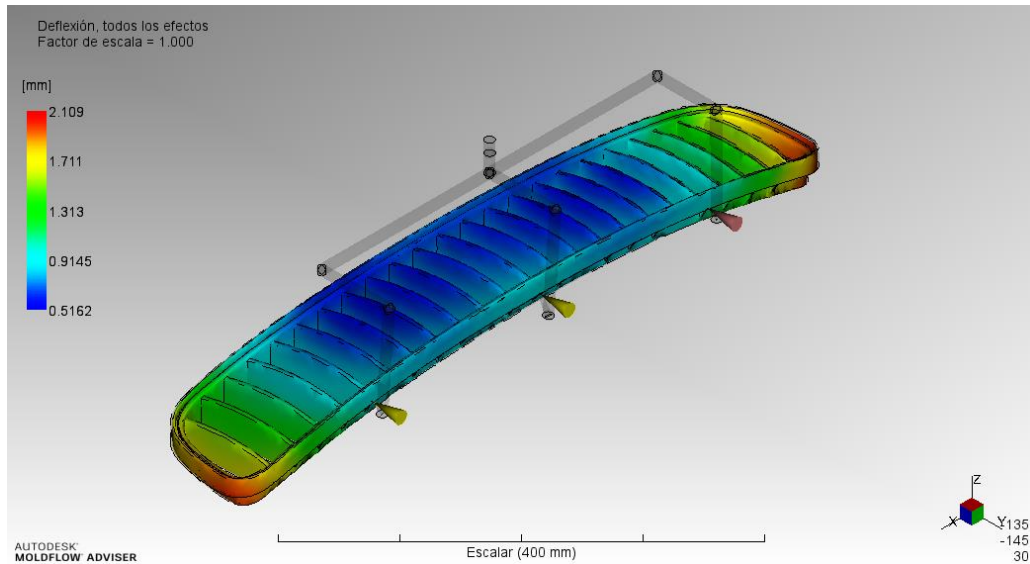


Imagen 31. Deformaciones todos los efectos.

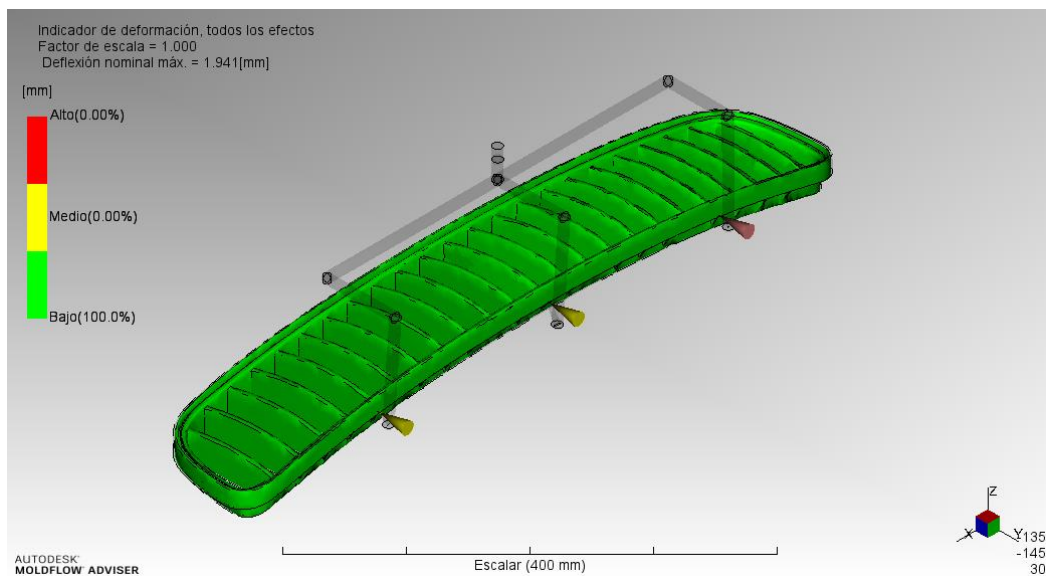


Imagen 32. Indicador deformación todos los efectos.

Deformaciones obtenidas como consecuencia de la refrigeración:

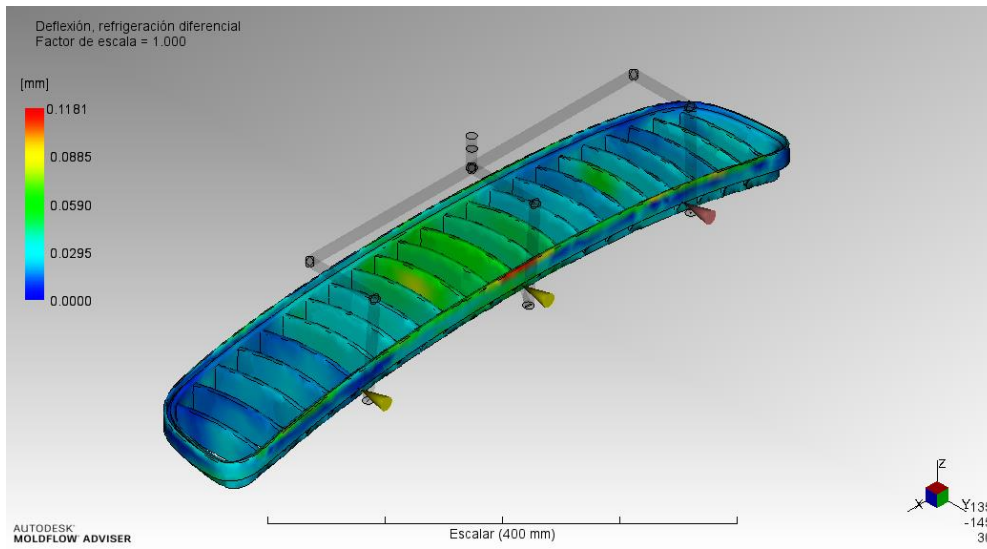


Imagen 33. Indicador deformación debido a refrigeración.

Deformaciones obtenidas como consecuencia de la contracción:

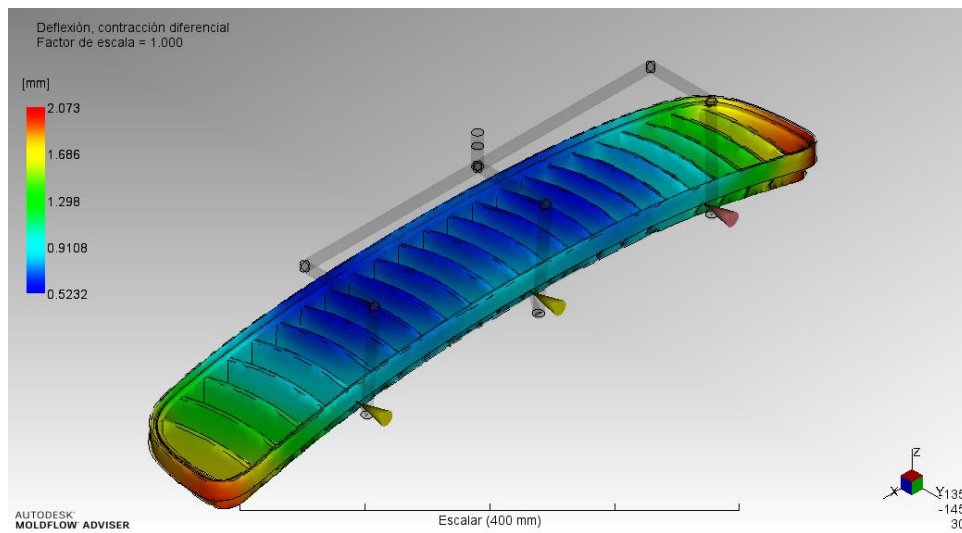


Imagen 34. Indicador deformación debido a contracción

4.1.2.4 Tiempo total de ciclo

Una vez obtenidos todos los resultados de análisis de inyección y refrigeración, se obtienen el tiempo total de ciclo.

El tiempo estimado de refrigeración es de 14.8 [s], que junto con el tiempo de inyección 5.48 [s], compactación 10[s] y apertura del molde 10[s], dan un tiempo total de ciclo de 40 [s] por pieza.

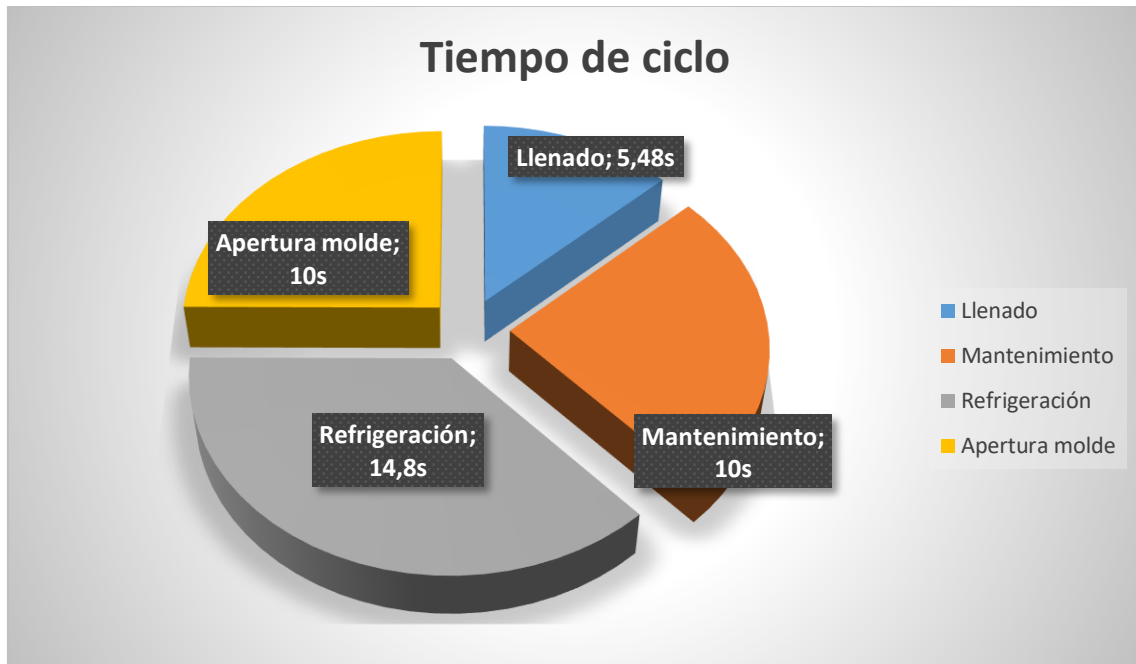


Imagen 35. Tiempo total de ciclo.

4.1.2.5 Resumen simulación Moldflow

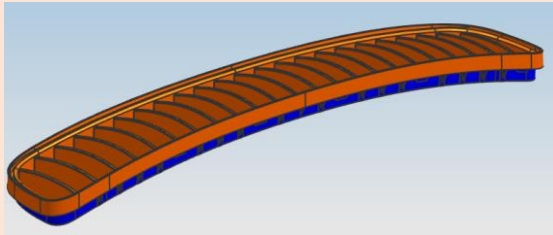
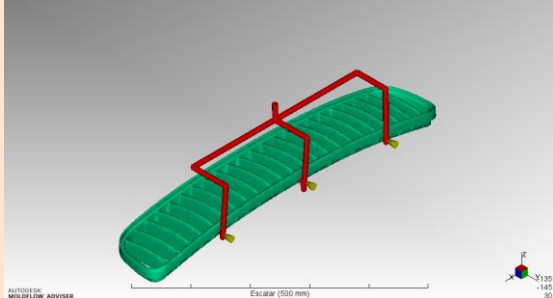
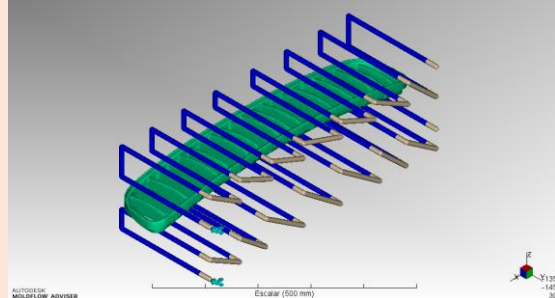
| Datos pieza | | | Modelo inyección | | | Modelo refrigeración | | |
|---|--|----|--|----------|-----|---|----------|-------|
|  | | |  | | |  | | |
| Condiciones proceso | | | Resultados inyección | | | Resultados refrigeración | | |
| Nº entradas | 3 | | Tiempo de llenado | 5,48 | s | Tiempo de refrigeración | 14,8 | s |
| Tipo de entrada | Directa | | Llenado equilibrado | SI | | Caudal | 10 | L/min |
| Material | ABS | | Presión inyección | 73,576 | Mpa | Temperatura refrigerante | 25 | °C |
| Tª masa fundida | 230 | °C | Presión compactación | 58,954 | MPa | Refrigerante | Agua | |
| Presión compactación | 80% Presión final de llenado | | Calidad pieza | Correcta | | ΔT refrigerante (entrada/salida) | 3 | °C |
| Tiempo compactación | 10 | s | Rechupes | Correcta | <1% | Presión circuito | 98,35 | KPa |
| Tª molde | 50 | °C | Atrapamientos de aire | Correcta | | Tª pieza | 61,8 | °C |
| Tiempo refrigeración | Automático | | Líneas de soldadura | Correcta | | Calidad refrigeración | Correcta | |
| Tipo de análisis | Llenado+Compactación+Refrigeración+Deformación | | Fuerza de cierre | 130,15 | Tn | Tiempo total de ciclo | 40 | s |

Tabla 1. Resultados simulación Moldflow

4.1.2.6 Otras simulaciones

Una vez realizada la simulación y analizados los resultados se da por validado el diseño de los canales de refrigeración. No obstante, se han realizado dos simulaciones más modificando algunos de los parámetros clave en el sistema de refrigeración, como son los materiales del molde y las temperaturas del proceso. En el primero, se ha modificado los materiales de construcción del molde introduciendo un material no férreo con alta conductividad térmica como el cobre berilio. En el segundo se han modificado la temperatura del refrigerante, introduciendo un valor menor.

4.1.2.6.1 Simulación 2: Material molde CoBe

Para esta simulación se ha modificado el material del molde por uno con mayor conductividad térmica como el cobre berilio. La conductividad térmica de este material es superior a los aceros, pero sin llegar a tener la misma dureza, resistencia al desgaste y resistencia a la fatiga. Generalmente, es necesario un buen recubrimiento de la superficie para la aplicación de éxito de estos materiales.

Este material suele emplearse en inserto del molde donde se localizan puntos calientes donde es difícil aproximar los canales de refrigeración, por lo que no es necesario aplicarlo a la totalidad del molde.

Como se observa en la siguiente simulación, la temperatura de la pieza disminuye considerablemente simplemente modificando el material del molde y manteniendo todos los restantes parámetros del proceso igual a los realizados en el primer análisis.

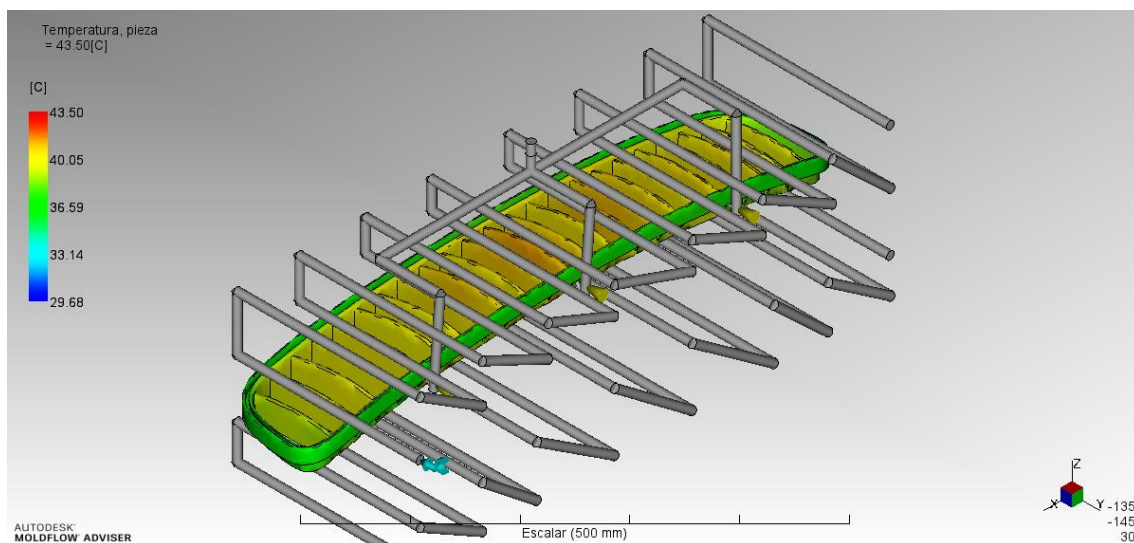


Imagen 36. Temperatura pieza con CoBe.

4.1.2.6.2 Simulación 3: Temperatura refrigerante

Por otro lado, se ha modificado la temperatura del refrigerante disminuyendo su temperatura 5°C, con respecto a los 25°C de la primera simulación. No se observa cambios notorios con respecto a la primera simulación salvo que la temperatura disminuye algunos grados.

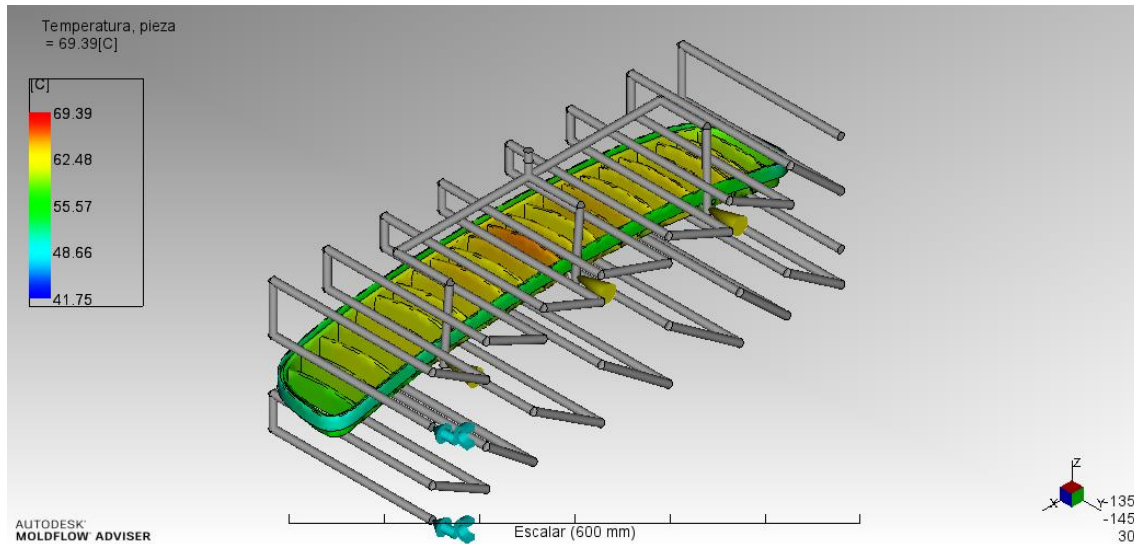


Imagen 37. Temperatura pieza modificando temperatura refrigerante.

4.1.3 Cálculos mecánicos

4.1.3.1 Fuerza de cierre

La simulación realizada en Moldflow muestra la fuerza de cierre necesaria que debe de tener la unidad de cierre de la máquina para evitar su apertura debida a la presión de inyección.

Estos resultados se obtienen del área de la pieza proyectada y de la presión de inyección. Esta simulación arroja lo siguientes resultados:

- Presión de inyección: 73.692 [MPa]
- Área fuerza de cierre: 281.222 [cm²]
- Fuerza de cierre: 130.150 [Tn]

Realizando el cálculo manualmente, la fuerza de cierre necesaria da un valor mayor que la a calculada a través de la simulación, esto es debido a que asume que la presión máxima se distribuye uniformemente por todo el molde.

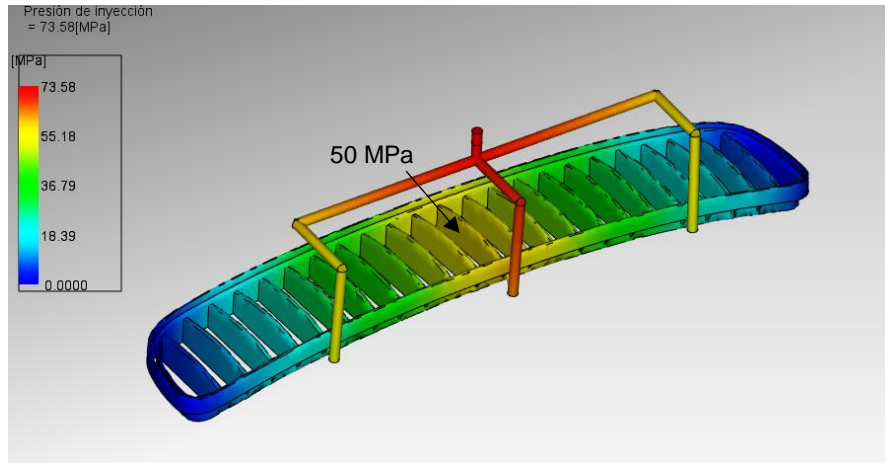
El cálculo manual de la fuerza de cierre se obtiene mediante la siguiente formula:

$$F_{cierre} = P \cdot A$$

$$F_{cierre} = 73.692 \text{ MPa} \cdot \frac{10^6 \text{ Pa}}{1 \text{ MPa}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{9,81 \text{ N}} \cdot \frac{1 \text{ tn}}{10^3 \text{ kg}} \cdot 281.222 \text{ cm}^2 \cdot \frac{10^{-4} \text{ m}^2}{1 \text{ cm}^2} = 211.25 \text{ Tn}$$

4.1.3.2 Resistencia frente al pandeo expulsores

Para comprobar la resistencia de los expulsores frente al pandeo se tomarán como resultados las presiones obtenidas en la ubicación de los expulsores.



La mayor presión se localiza en el centro de la pieza donde se ubican dos expulsores de diámetro 4mm, esta presión tiene un valor de 50 [MPa]. Para realizar el cálculo de resistencia a pandeo se disponen de los siguientes datos:

$$A_{sección} = 12.56 \text{ mm}^2$$

$$P_{inyección} = 50 \text{ MPa} \rightarrow 50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$L_{expulsor} = 280 \text{ mm}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Para el cálculo se empleará la tensión crítica de Euler:

Como condición de anclaje se tomará empotrado en la base de las placas expulsoras y articulado en la zona del núcleo.

$$L_{pandeo} = L \cdot \beta = 280 \text{ mm} \cdot 0,7 \rightarrow L_{pandeo} = 196 \text{ mm}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \rightarrow \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot r^4}{4}}{\pi \cdot r^2}} \rightarrow i = 1 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{pandeo}}{i} \rightarrow \lambda = 196 > 100$$

$$\sigma_c = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3}{196^2} \rightarrow \sigma_c = 53 \text{ MPa} > P_{inyección}$$

Dado que $\sigma_c > P_{inyección}$ los expulsores no pandearan.