

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

MOLDE DE INYECCIÓN PARA BANDEJA DE PINTURA

DOCUMENTO 4- CÁLCULOS

Alumno: Fernández Canseco, Iker
Director: Lobato González, Roberto

Curso: 2018-2019

Fecha: 19/06/2019

4. CÁLCULOS

4.1.	Introducción	5
4.2.	Objeto	6
4.3.	Pieza.....	7
4.3.1.	Datos del material	7
4.3.2.	Análisis de la pieza	8
4.3.2.1.	Puntos de inyección	8
4.3.2.2.	Ventana de proceso	9
4.3.2.3.	Rechupes.....	10
4.4.	Molde.....	11
4.4.1.	Canales de distribución	11
4.4.2.	Refrigeración	12
4.4.3.	Análisis del molde	13
4.4.3.1.	Estudio de llenado	13
4.4.3.2.	Estudio de compactación	18
4.4.3.3.	Estudio de refrigeración	19
4.4.3.4.	Deformaciones	22
4.5.	Cálculos mecánicos.....	24
4.5.1.	Área proyectada	24
4.5.2.	Fuerza de cierre.....	24
4.5.3.	Velocidad de inyección.....	25
4.5.4.1.	Tiempo de solidificación o enfriamiento	26
4.5.4.2.	Tiempo total del ciclo de inyección	27
4.5.4.	Geometría de la colada	28
4.5.5.	Resistencia a pandeo de los expulsores.....	28
4.6.	Resultados finales.....	30
4.6.1.	Parte fija	30
4.6.1.1.	Anillo centrador	30
4.6.1.2.	Bebedero.....	30
4.6.1.3.	Placa superior	31
4.6.1.4.	Portacavidades.....	31
4.6.1.5.	Cavidades	32

4.6.2.	Parte móvil	32
4.6.2.1.	Núcleos.....	32
4.6.2.2.	Portanúcleos	33
4.6.2.3.	Expulsor.....	33
4.6.2.4.	Portaexpulsores	34
4.6.2.5.	Placa expulsora	34
4.6.2.6.	Placa inferior	35

4.1. Introducción

En este documento se muestran varios cálculos y análisis que se han utilizado para realizar el diseño del molde de inyección de plástico.

Para empezar, se efectuará un análisis de la pieza a fabricar, no sin antes nombrar las principales características del material plástico que se va a inyectar. Este análisis, principalmente servirá para elegir correctamente los puntos de inyección de la pieza y los parámetros adecuados del proceso.

A continuación, se realizará un análisis del molde. Para ello es necesario diseñar tanto el sistema de inyección como el de refrigeración, de lo contrario no se podrá hacer la simulación del ciclo correctamente. Este análisis se puede distinguir tres diferentes estudios: llenado, compactación e inyección. Gracias a estos estudios se obtendrán diferentes datos (líneas de soldadura, confianza de llenado, calidad de refrigeración...) con el fin de comprobar la idoneidad del diseño.

Para los análisis comentados se utilizará en software Moldflow Adviser.

Por último, se mostrarán los resultados de los diferentes componentes de los que consta el molde completo. Para el diseño de estos componentes se utilizará el software NX Unigraphics de Siemens.

4.2. Objeto

El principal objetivo de este documento es hacer los cálculos necesarios con el fin de garantizar que el diseño del molde sea el óptimo. Para ello se van a tener en cuenta diversidad de factores.

Con los datos obtenidos de los análisis se justificarán las decisiones adoptadas para diseñar el molde. Así como la elección de material plástico utilizado para la fabricación de la bandeja de pintura.

Los programas utilizados para estos cálculos (Moldflow Adviser y NX Unigraphics) nos dan gran variedad de análisis, con los cuales se pueden visualizar factores y parámetros a tener en cuenta. Gracias a estos resultados se puede comprobar si el diseño hecho es el correcto, de lo contrario, se podrán realizar cambios fácilmente.

4.3. Pieza

La pieza a fabricar por el molde que se va a diseñar en este proyecto es una bandeja de pintura. Esta bandeja tiene unas dimensiones aproximadas de 300x150x45 mm, como se explicará más adelante, debido a estas dimensiones se va a optar por hacer un molde de dos cavidades; es decir, que en cada ciclo se producirán dos unidades de esta pieza. En la siguiente imagen se puede ver la bandeja a fabricar.

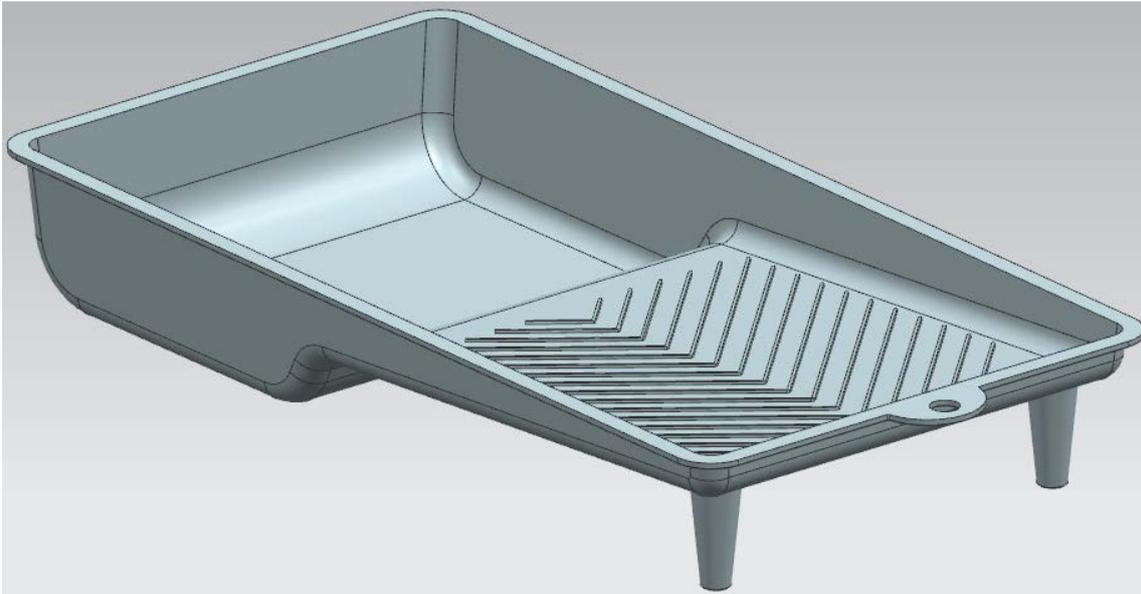


Imagen 1. Bandeja de pintura.

El material elegido para la fabricación de esta pieza es el polipropileno (PP), que a continuación se nombran los datos o características principales.

4.3.1. Datos del material

Las características principales del polipropileno se pueden resumir en las que se enumeran a continuación:

- Bajo coste.
- Fácil moldeo.
- Baja densidad.
- Alta resistencia a fractura.
- Muy buenas propiedades químicas y eléctricas.
- Buena resistencia al impacto.

Se ha optado por el uso de este material, principalmente por la baja densidad y, sobre todo, por ser uno de los materiales termoplásticos más económicos que se encuentran en el mercado.

4.3.2. Análisis de la pieza

4.3.2.1. Puntos de inyección

Para empezar, se va a estudiar cuál es la mejor ubicación para los puntos de inyección de la pieza. Para ello, se realiza un análisis mediante el programa Moldflow que nos facilitará las zonas más adecuadas para colocar estos puntos. En la siguiente imagen se puede observar el resultado del análisis de idoneidad de las entradas.

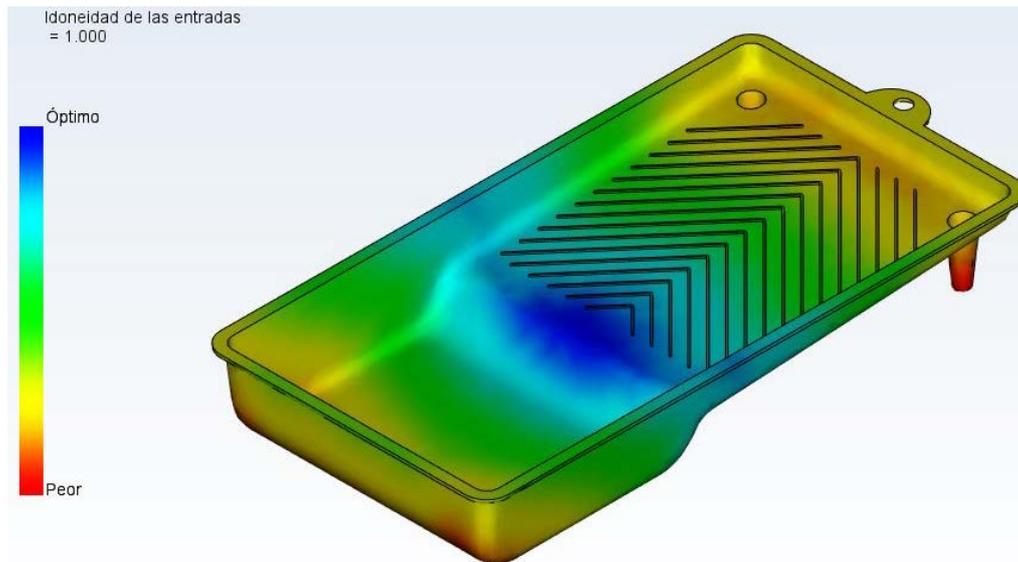


Imagen 2. Idoneidad de las entradas.

Como se puede ver, la mejor zona para colocar los puntos de inyección se encuentra en el centro de la pieza. Sin embargo, puesto que el plano de partición se ubica en la parte más alta de la pieza, se opta por el siguiente punto de inyección:

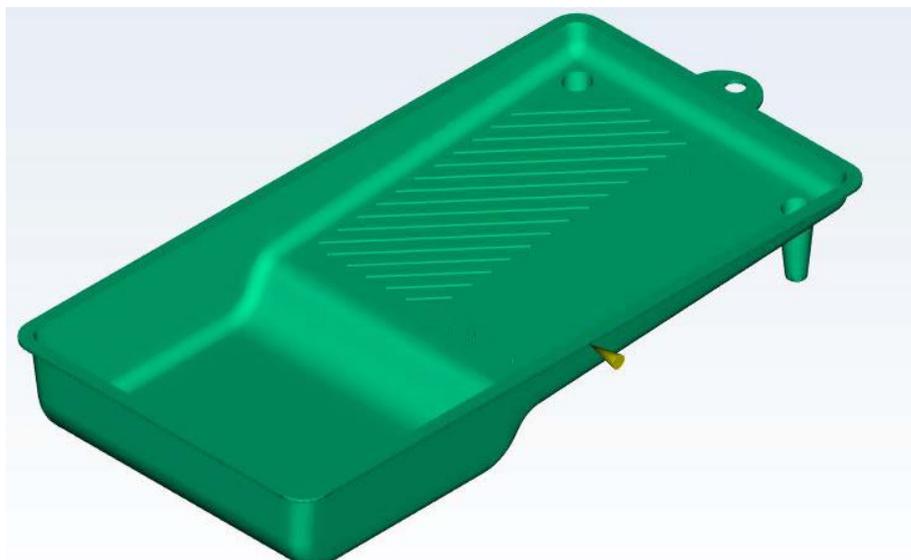


Imagen 3. Punto de inyección.

4.3.2.2. Ventana de proceso

Una vez decidido el punto de inyección, se va a estudiar el punto óptimo en la ventana de proceso; es decir, las mejores condiciones para realizar la pieza. Para ello se van a tener en cuenta 3 variables:

- Temperatura del molde
- Temperatura de la masa fundida
- Tiempo de inyección

Al igual que antes ejecutamos el análisis mediante el software Moldflow. Una vez realizado dicho análisis, el punto óptimo para este proceso se encuentra cuando los parámetros adoptan los valores siguientes:

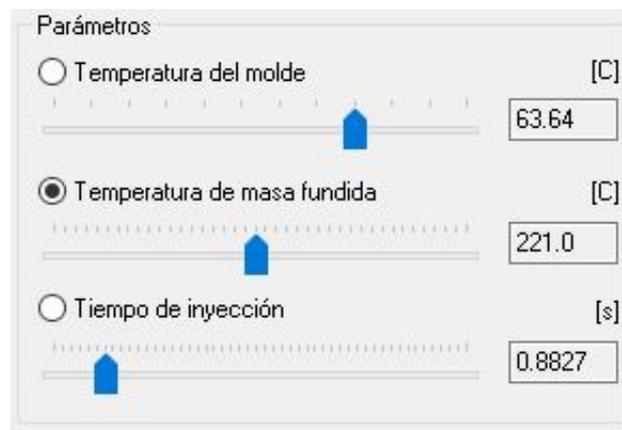


Imagen 4. Parámetros de punto óptimo.

Se muestra uno de los gráficos en los cuales se expresan los resultados de este análisis, en este caso, con la temperatura de masa fundida fijada en 221 °C.

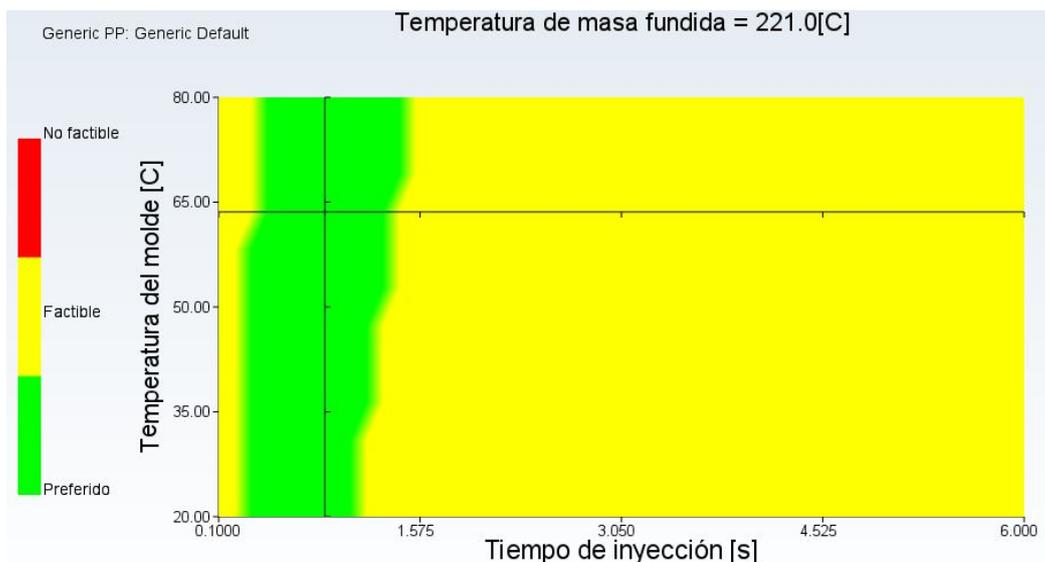


Imagen 5. Gráfico ventana de proceso.

4.3.2.3. Rechupes

Por último, en cuanto al análisis de la pieza se va a comprobar si hay posibilidad de que aparezcan rechupes que comprometan la calidad de la pieza, así como sus características.

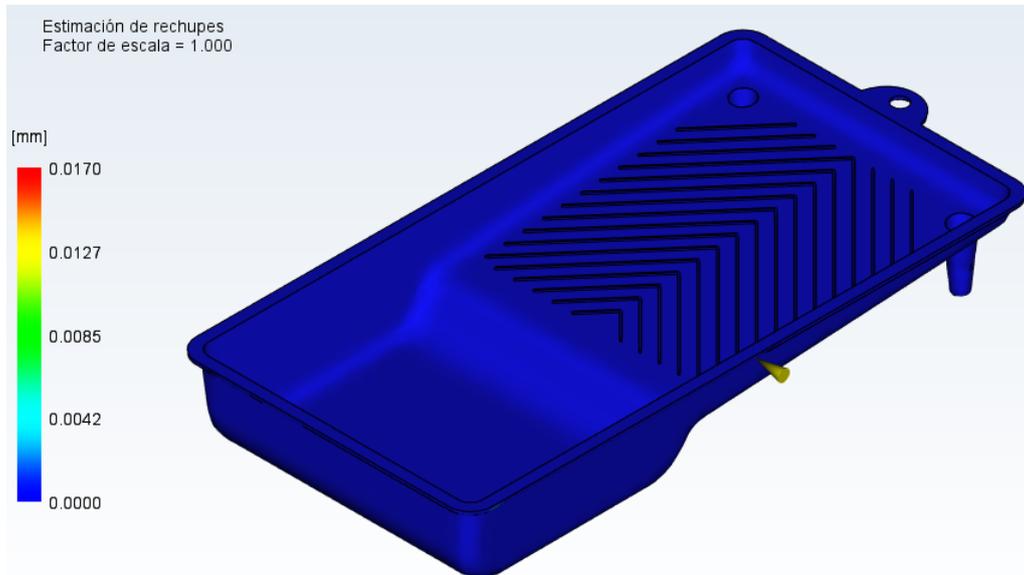


Imagen 6. Rechupes.

Los rechupes pueden llegar a ser visibles a partir de 0.015 mm. Interpretando los resultados del análisis se puede asegurar que los rechupes no son un motivo de preocupación en la pieza, ya que por el tipo de pieza (uso, necesidad de calidad superficial...) los rechupes que pueden aparecer por encima de 0.015 mm son casi inexistentes.

4.4. Molde

Con el fin de poder producir la pieza con mayor rapidez se ha optado por hacer un molde con dos cavidades, cuyas dimensiones generales son las siguientes:

- Placa portanúcleos: 596x546x76 mm
- Placa portacavidades: 596x546x116 mm

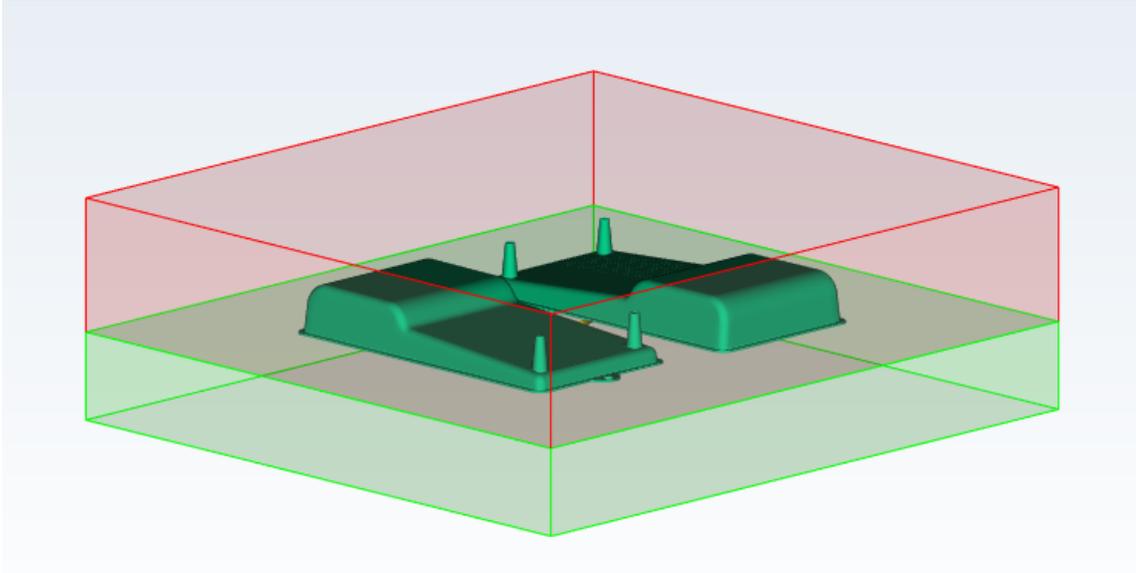


Imagen 7. Dimensiones del molde.

4.4.1. Canales de distribución

Los canales de distribución tienen como objetivo conducir el material plástico hasta las cavidades. En este caso se ha optado por un sistema de distribución con las siguientes características:

- Bebedero

El bebedero diseñado es de forma circular, con un diámetro inicial de 8 mm.

- Canales

Los canales de distribución que conectan el bebedero con las entradas son de sección circular de 4 mm de diámetro.

- Entradas

Las entradas de forma circular cónica tienen un diámetro inicial de 4 mm y un diámetro final de 1 mm.

En la siguiente imagen se puede ver el sistema de distribución diseñado

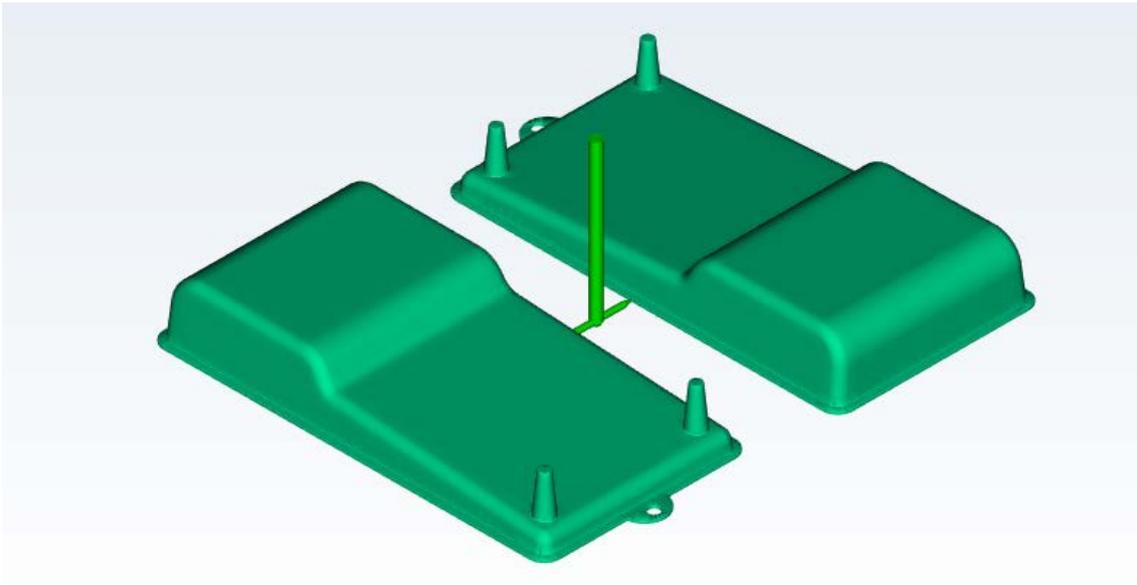


Imagen 8. Sistema de distribución.

4.4.2. Refrigeración

En cuanto al sistema de refrigeración se han planteado dos opciones para la conexión entre los canales: conectarlos en paralelo, o conectarlos en serie. Finalmente, se ha optado por seleccionar la conexión en paralelo. La razón de esta elección es la uniformidad de la refrigeración a lo largo de todo el molde.

Los canales de refrigeración son de 10 mm de diámetro. Estos canales se encuentran en un plano, en la placa portacavidades, a 80 mm del plano de partición. La distribución de este sistema de refrigeración se puede observar en la siguiente imagen.

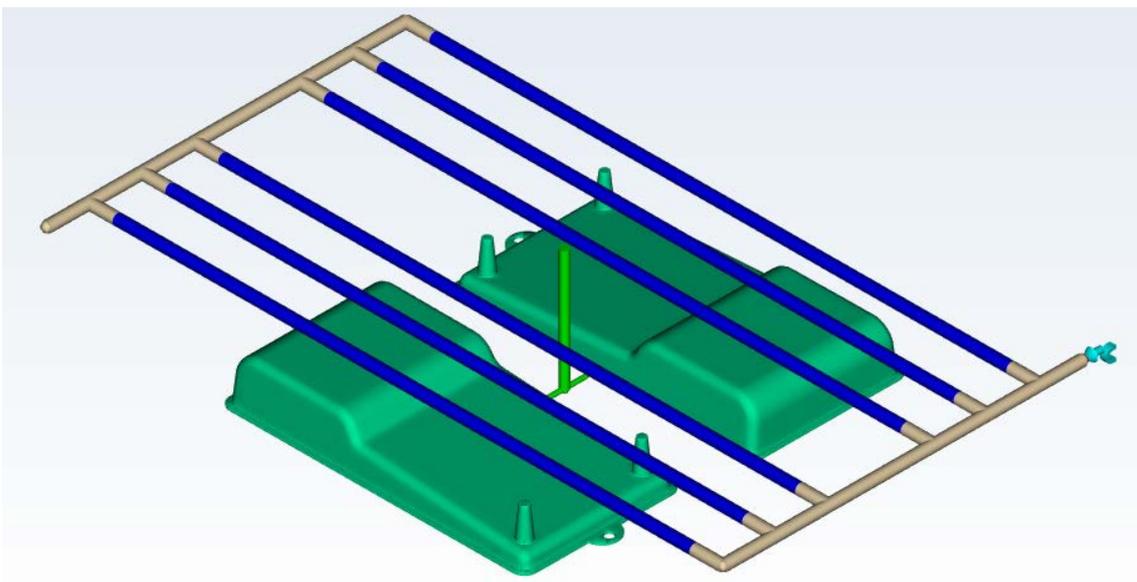


Imagen 9. Sistema de refrigeración.

Como líquido refrigerante se va a utilizar agua, la cual va a estar a una temperatura de 25 °C mientras que el caudal va a ser de 10 l/min. Se ha diseñado este sistema de refrigeración únicamente en la parte de la cavidad ya que, debido a la calidad de refrigeración, es suficiente.

Propiedades de entrada de refrigerante

Velocidad de flujo: 10 l/min

Temperatura: 25 C

Refrigerante: Water (pure) ...

Imagen 10. Propiedades del refrigerante.

4.4.3. Análisis del molde

Después de haber diseñado el sistema de distribución y la refrigeración del molde, se hará el análisis del mismo. Gracias a este análisis se podrá comprobar si estos sistemas están bien diseñados, de lo contrario habrá que realizar alguna variación hasta conseguir el diseño óptimo.

Mediante el software Molflow Adviser se han realizado los estudios de llenado, compactación y refrigeración, los resultados obtenidos se resumen en los siguientes apartados.

4.4.3.1. Estudio de llenado

El programa nos da unos datos en la inyección, resumidos en la siguiente tabla.

Tiempo real de llenado	1.03 (s)
Presión real de inyección	75.458 (MPa)
Área de fuerza de cierre	880.6584 (cm ²)
Fuerza de cierre máx. durante el llenado	236.354 (tonelada)
Conmutación de velocidad/presión a % volumen	97.76 (%)
Conmutación de velocidad/presión en tiempo	0.99 (s)
Peso total de la pieza al final del llenado	119.039 (g)
Volumen de inyectada	169.5242 (cm ³)
Volumen de la cavidad	163.1300 (cm ³)
Volumen del sistema de canales	6.3942 (cm ³)

Imagen 11. Datos de llenado.

Para empezar, en el análisis de llenado se va a comprobar tanto la confianza de llenado como el tiempo de llenado:

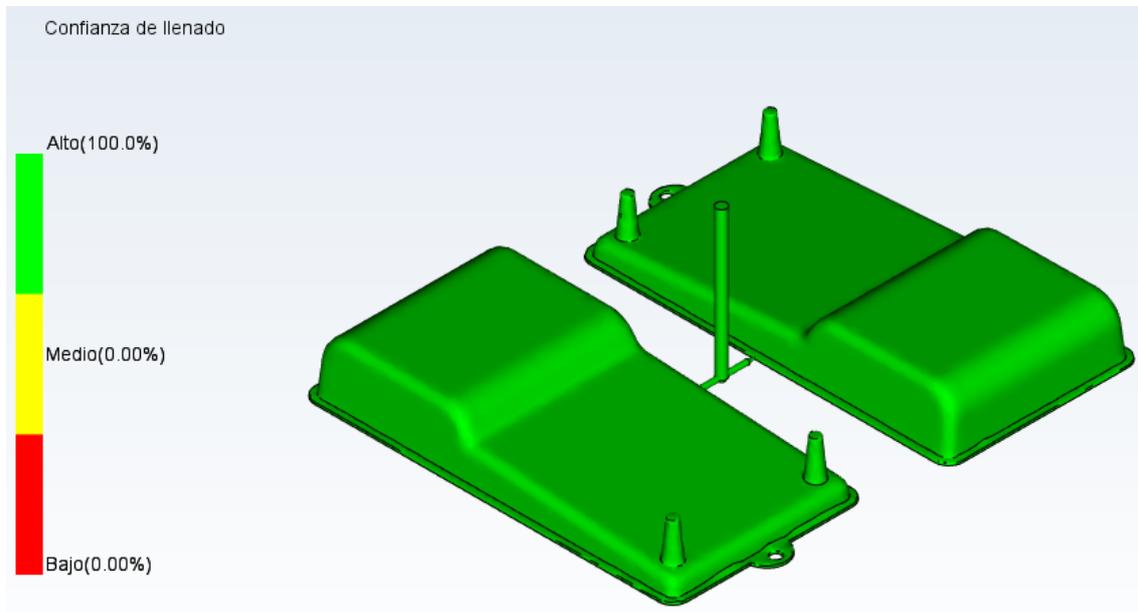


Imagen 12. Confiabilidad de llenado.

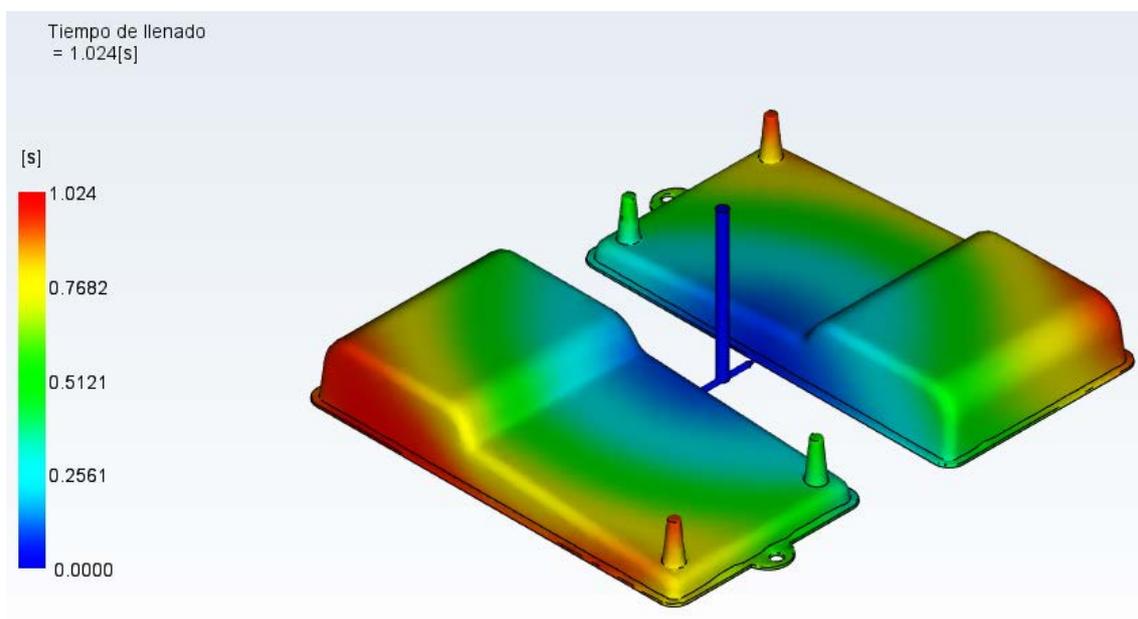


Imagen 13. Tiempo de llenado.

Como se puede observar en las imágenes la confiabilidad de llenado es inmejorable. Además, el tiempo de llenado es de 1,024 segundos, un tiempo bastante bajo, lo cual es interesante ya que se podrá producir la pieza con rapidez.

Un dato que podemos sacar de la simulación es el nivel de calidad que podemos esperar de las piezas fabricadas. Como se puede comprobar en la imagen que se muestra a

continuación, la predicción de calidad es muy buena, ya que la parte que se indica como baja calidad se encuentra en el bebedero, la cual no es parte de las piezas finales.

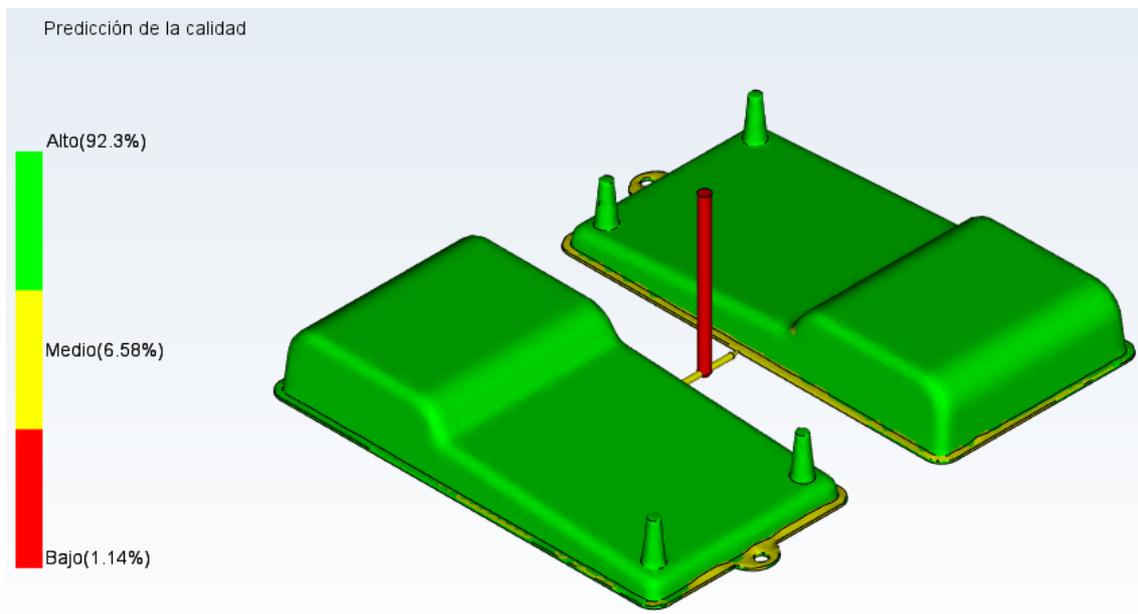


Imagen 14. Predicción de calidad.

Ahora se va a estudiar la presión de inyección. Para ello es necesario tener en cuenta la existencia de dos presiones diferentes: la de llenado y la de mantenimiento. La primera de ellas, como se deduce de su nombre es la que se presenta durante la fase de llenado, y que va desde un valor máximo en las entradas de inyección hasta un valor nulo en los extremos de las piezas.

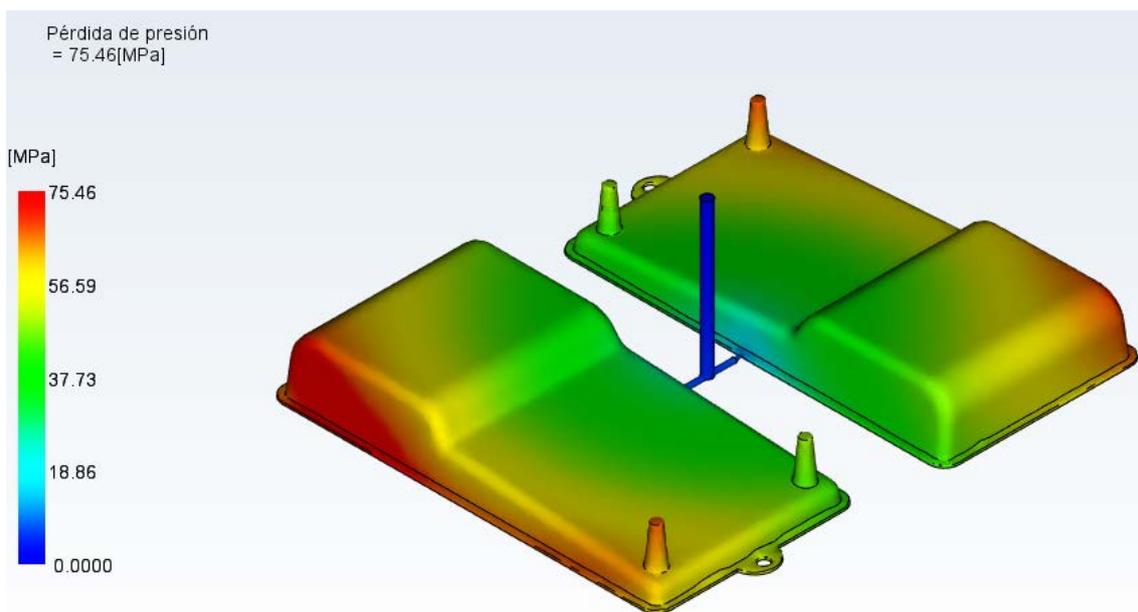


Imagen 15. Pérdida de presión.

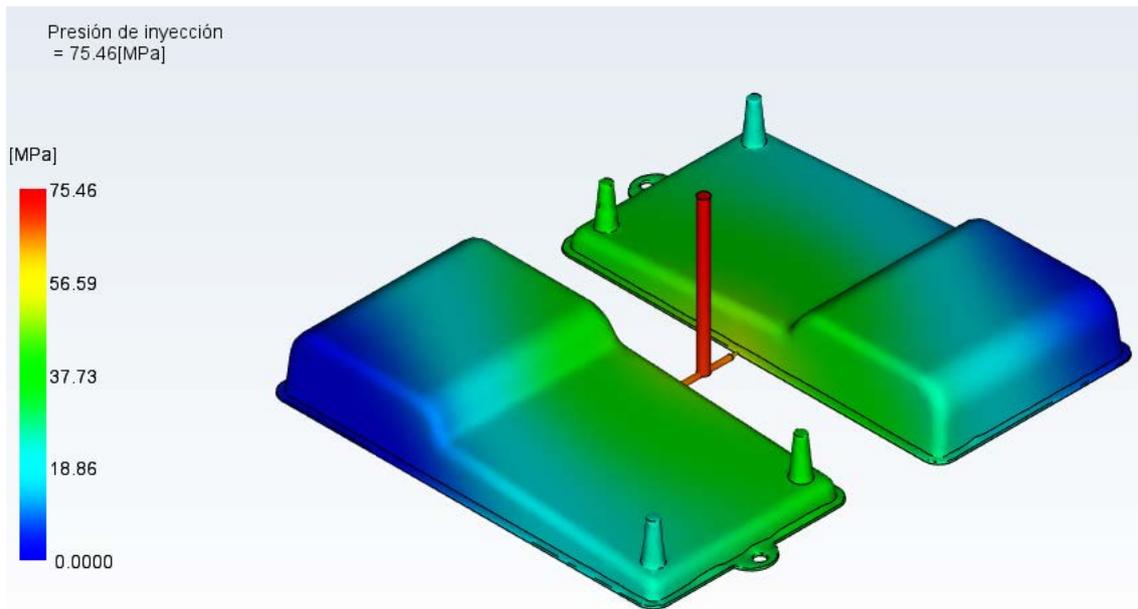


Imagen 16. Presión de inyección.

En cambio, la presión de mantenimiento se trata de la que se da durante la compactación, la cual es de menor valor. En este caso, se ha diseñado la presión de compactación con un valor del 80% de la presión de inyección; es decir, 60.366 MPa.

Para continuar, se va a comprobar si las líneas de unión o soldadura que aparecen en la pieza son un motivo para preocuparse o no. Para ello hay que ver la temperatura en el frente de flujo en las zonas donde aparecen esas líneas de soldadura; esta temperatura debe ser no inferior a 20 °C por debajo de la temperatura de inyección, en este caso, no pueden crearse las líneas de soldadura a menos de 200 °C.

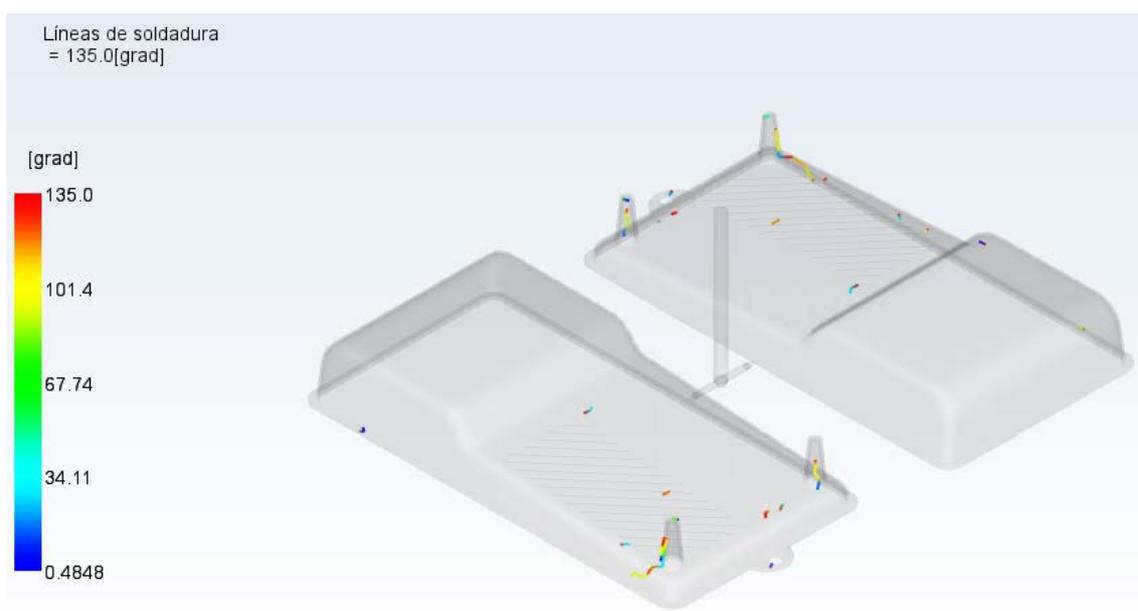


Imagen 17. Líneas de soldadura.

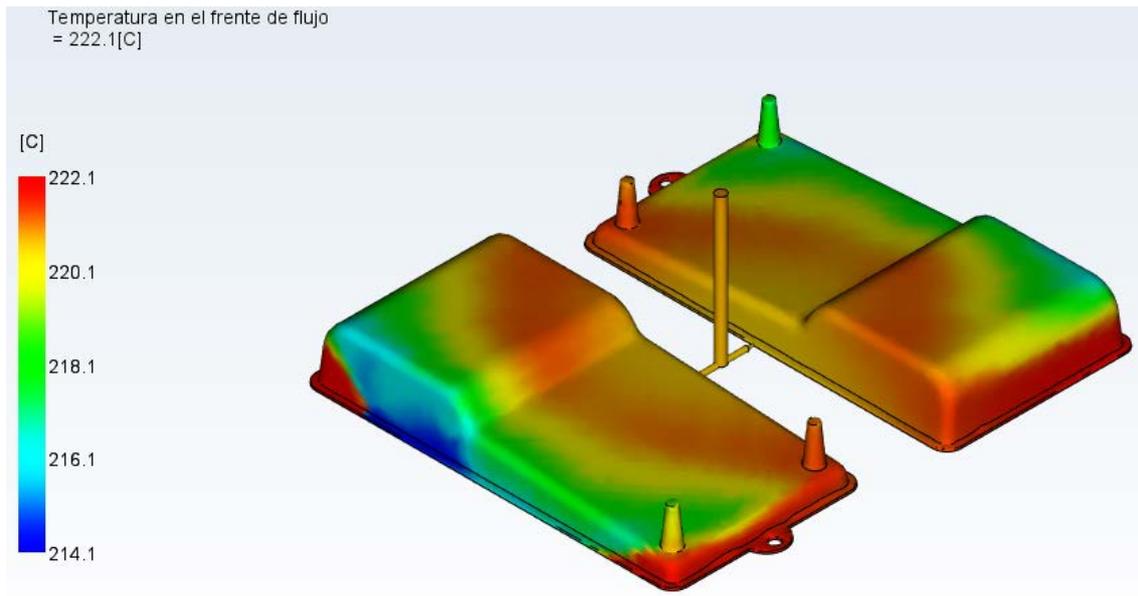


Imagen 18. Temperatura al frente del flujo.

Se comprueba que la temperatura en el frente de flujo no baja en ningún momento de 214°C, por lo que no las líneas de soldaduras que se generan no son preocupantes.

Por último, se va a comprobar si existen atrapamientos de aire en las piezas fabricadas.

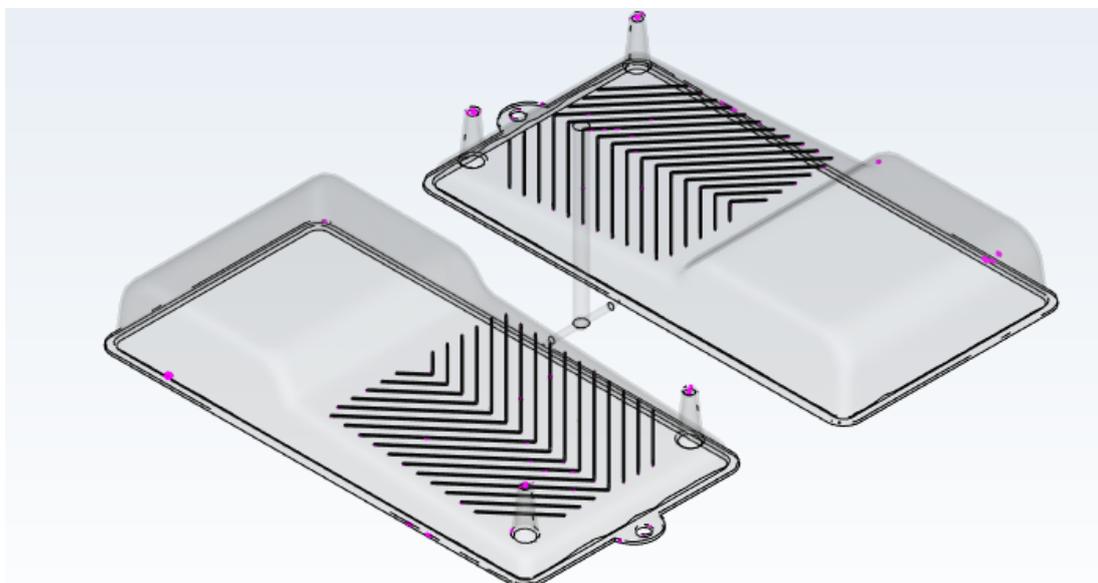


Imagen 19. Atrapamientos de aire.

Estos posibles defectos se solucionarán mediante venteos, que son unos agujeros de orden infinitesimal por los cuales es capaz de escapar el aire, pero no el fluido inyectado.

4.4.3.2. Estudio de compactación

Gracias a este estudio podemos obtener varios parámetros muy importantes, entre los que cabe destacar el tiempo de ciclo y la fuerza de cierre necesaria.

En este caso, el tiempo total del ciclo es de 35 segundos, mientras que la presión de mantenimiento, como se ha comentado previamente, es de 60.366 MPa a lo largo de la fase de compactación que dura 10 segundos.

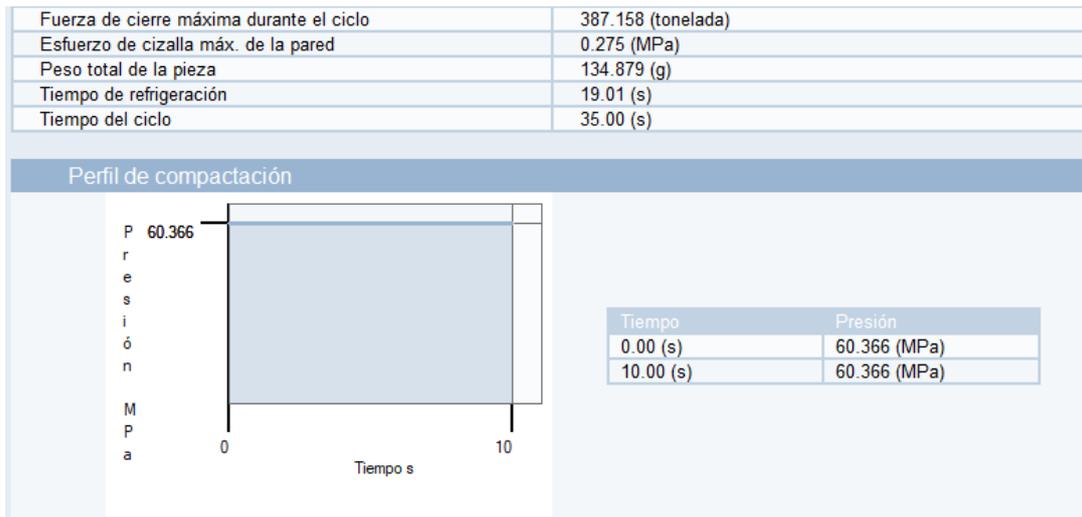
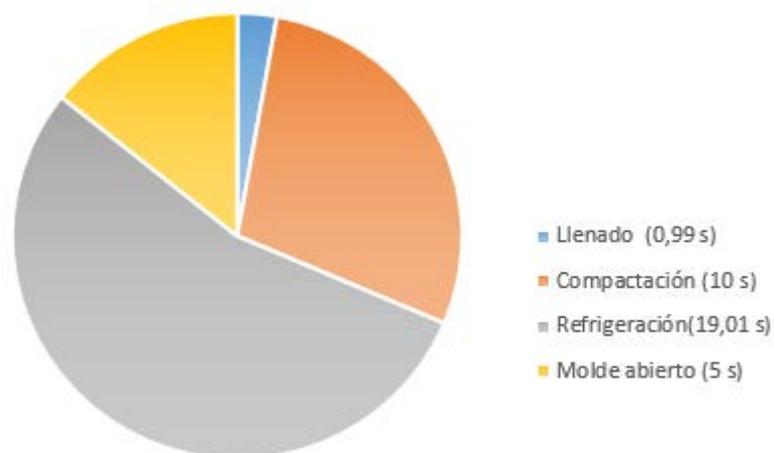


Imagen 20. Datos de compactación.

En el siguiente gráfico se puede observar la duración de cada fase del ciclo.



Tiempo de ciclo 35 segundos

Imagen 21. Tiempos fases.

Como se puede ver en este gráfico, la fase más larga es la de refrigeración, la cual se desarrolla durante 19 segundos. Siendo el tiempo total 35 segundos, como ya se ha explicado previamente.

4.4.3.3. Estudio de refrigeración

Mediante este estudio se comprobarán varios factores que hay que tener en cuenta para saber si el sistema de refrigeración diseñado es suficiente.

Lo primero que se comprobarán son las características del líquido refrigerante y del circuito de refrigeración.

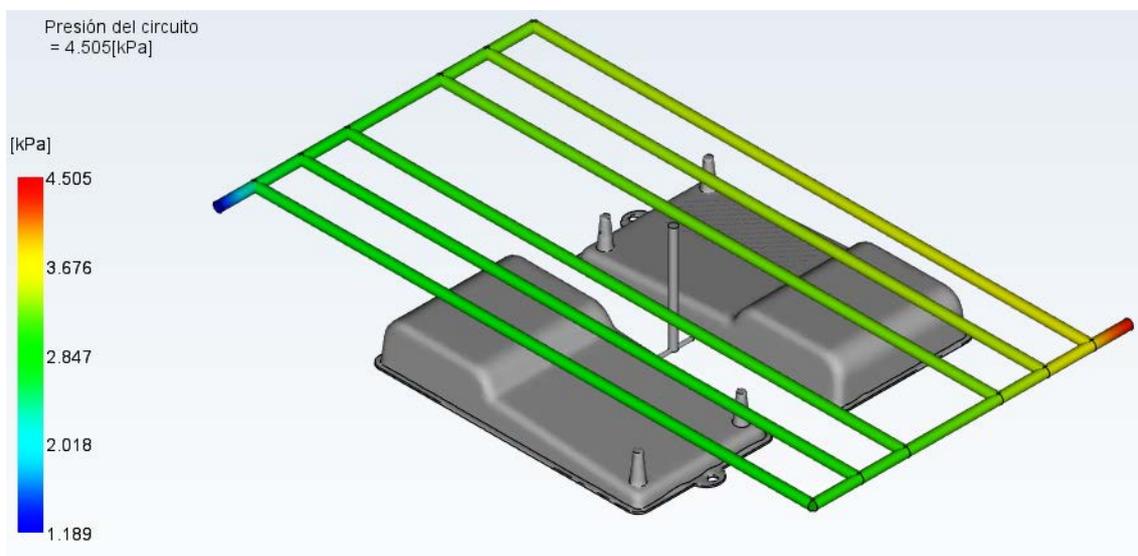


Imagen 22. Presión del circuito de refrigeración.

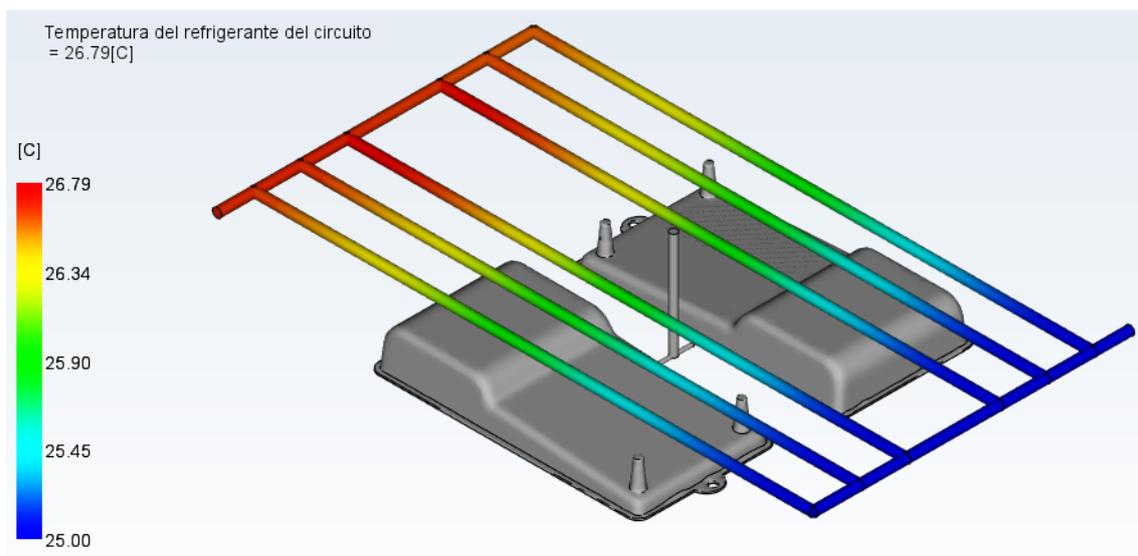


Imagen 23. Temperatura de refrigerante.

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

Por último, se comprobará la influencia del sistema de refrigeración en la pieza, de esta manera, conseguiremos saber si la refrigeración diseñada previamente es correcta o por el contrario es necesario cambiar el sistema de refrigeración.

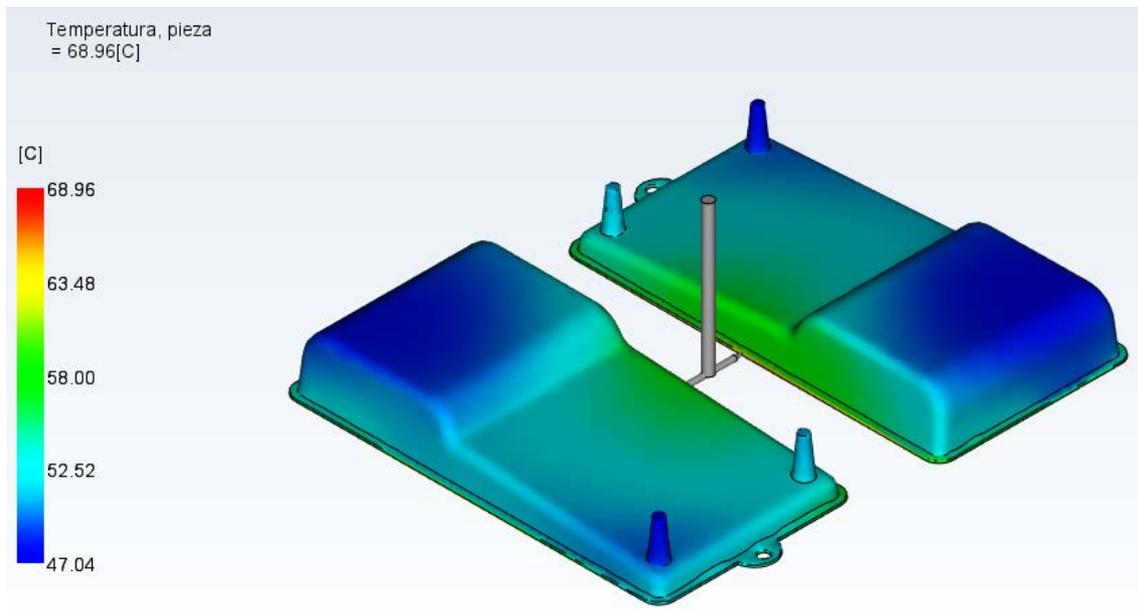


Imagen 24. Temperatura de la pieza.

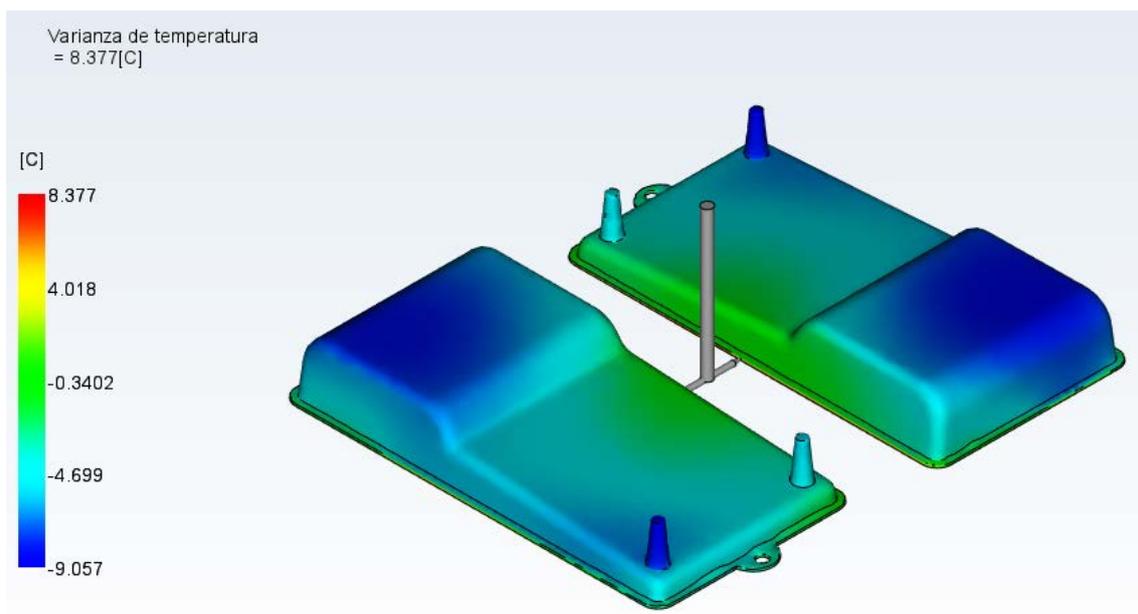


Imagen 25. Varianza de temperatura.

Para que la refrigeración sea correcta la diferencia de temperatura en dos puntos distintos de la pieza no debe superar los 10°C, y observando los resultados se puede confirmar que este parámetro es correcto, ya que la máxima variación es de 9°C.

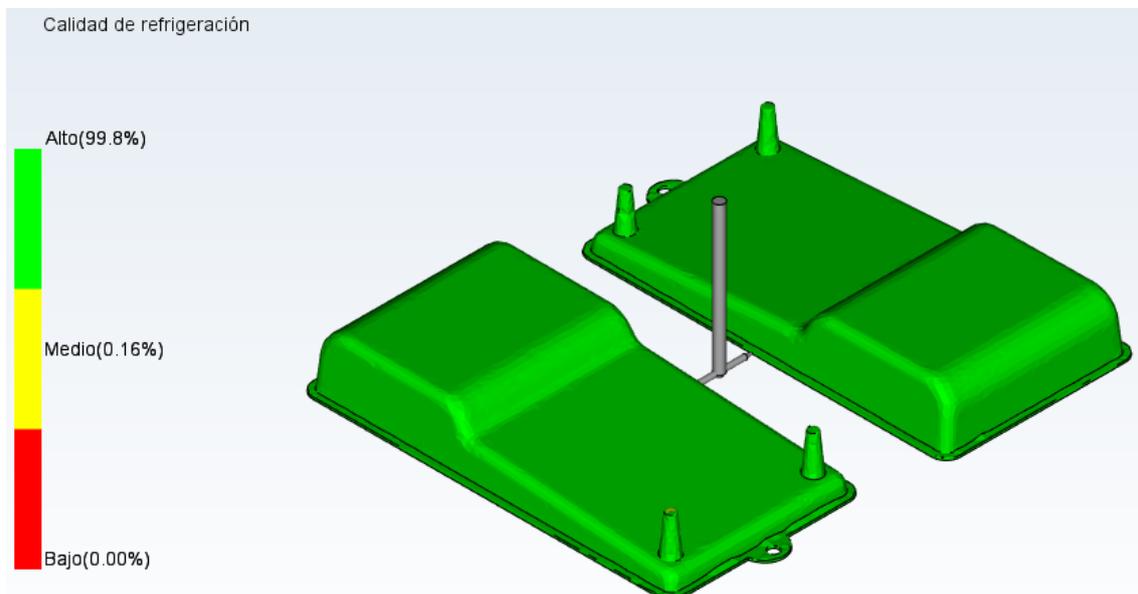


Imagen 26. Calidad de refrigeración.

Como se puede deducir de los resultados obtenidos gracias al software Moldflow, la calidad de refrigeración es muy buena en prácticamente el 100% de la pieza, por lo que se puede confirmar que el sistema de refrigeración creado anteriormente es suficiente y no es necesario hacer ninguna variación.

4.4.3.4. Deformaciones

Las deformaciones que se presentan en las piezas no son de gran magnitud, excepto en un extremo de la pieza debido a la contracción del material. A continuación se muestran las deformaciones totales, además de las deformaciones por las diferentes causas: refrigeración y contracción.

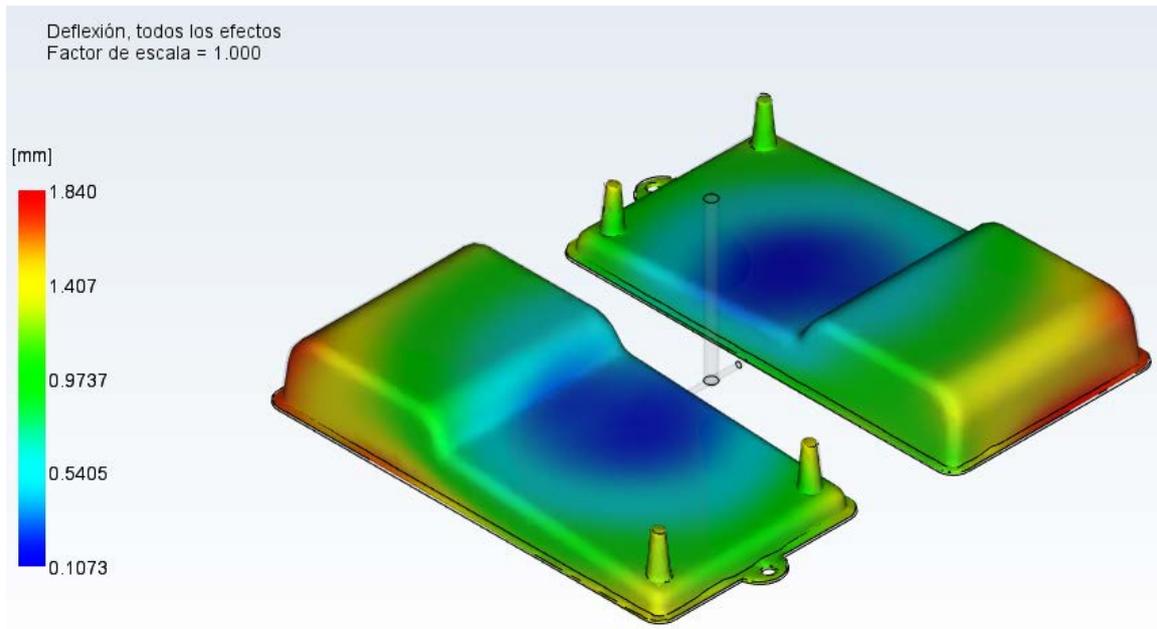


Imagen 27. Deformación por todos los efectos.

Las deformaciones debido a la refrigeración:

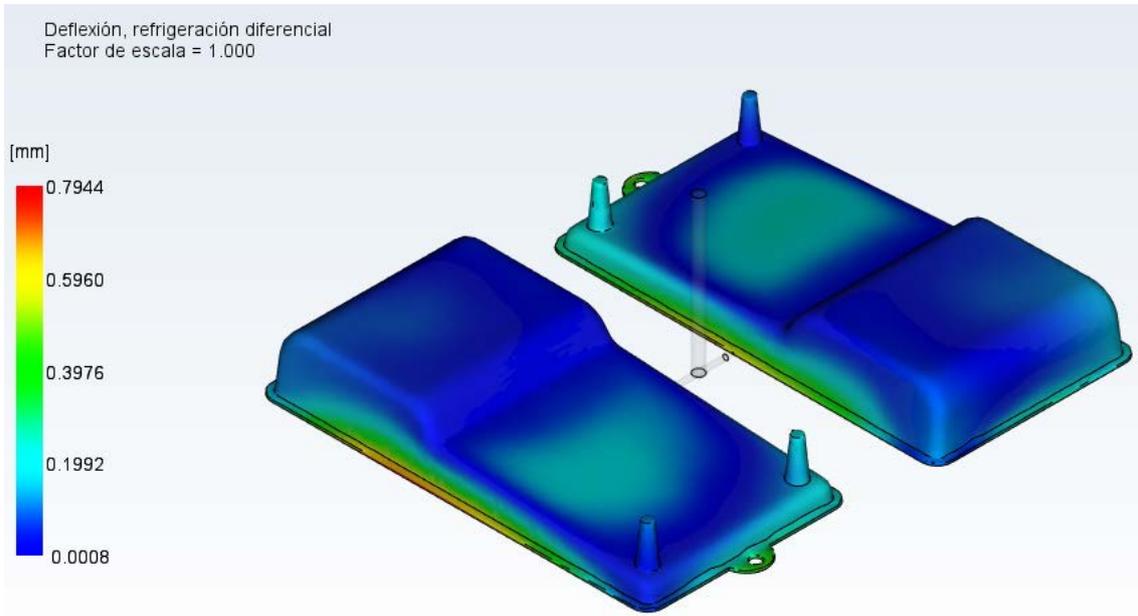


Imagen 28. Deformaciones por refrigeración.

Deformaciones debido a contracción:

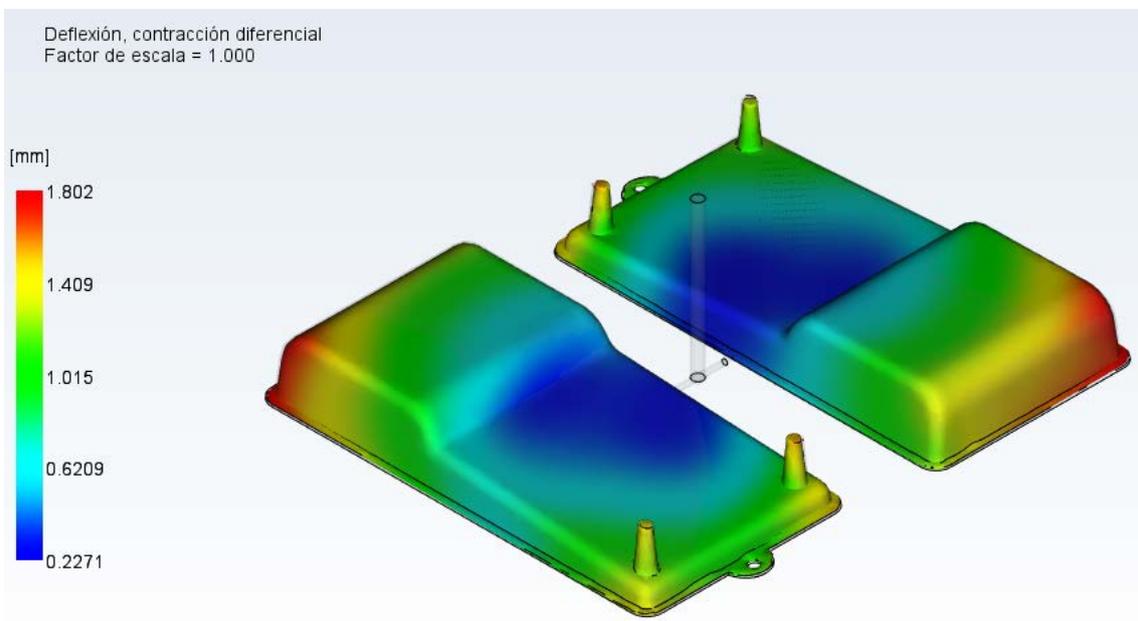


Imagen 29. Deformaciones por contracción.

4.5. Cálculos mecánicos

4.5.1. Área proyectada

El área proyectada en un molde es el área que es llenada con plástico fundido en la línea de partición.

El área proyectada de la pieza a fabricar es 43790 mm², pero como en cada ciclo se fabrican 2 unidades, el área proyectada a tener en cuenta es 87580 mm².

4.5.2. Fuerza de cierre

La fuerza de cierre es un parámetro de definición de la máquina inyectora, y corresponde a la fuerza que debe ejercer para mantener el molde cerrado durante la inyección. La inyección del plástico genera una presión dentro de la cavidad del molde durante la fase de llenado y mantenimiento, por lo que se aplica la fuerza de cierre para garantizar que el molde se mantenga cerrado durante todo este proceso.

Por lo tanto, la fuerza de cierre es proporcional a la presión generada dentro del molde, la cual se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$P_i = \frac{F_c}{A_p} \rightarrow F_c = P_i \cdot A_p$$

Donde:

- P_i → Presión de inyección (kg/cm²)
- F_c → Fuerza de cierre requerida de la maquina (kg)
- A_p → Área proyectada de la pieza(cm²)

Los datos que tenemos para la obtención de la fuerza de cierre son:

- Presión de inyección: 75.46 MPa
- Área proyectada: 87580 mm²

$$F_c = 75.46 \text{ MPa} \cdot \frac{10^6 \text{ Pa}}{1 \text{ MPa}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{9.8 \text{ N}} \cdot \frac{1 \text{ T}}{10^3 \text{ kg}} \cdot 87580 \text{ mm}^2 \cdot \frac{1 \text{ m}^2}{10^6 \text{ mm}^2} = 674.37 \text{ T}$$

4.5.3. Velocidad de inyección

El tiempo de inyección se puede obtener mediante expresión matemática que se muestra a continuación:

$$t_i = \frac{V_p}{Q_m}$$

También es posible calcular el tiempo de inyección en función de la velocidad de inyección. Se encontrará este valor en catálogos y hojas de datos técnicos de las máquinas de inyección en función del PS. Para conocer la velocidad de inyección se utiliza la siguiente fórmula.

$$S_i = \frac{S_{ps} \cdot \rho_n}{\rho_{ps}}$$

Donde:

- S_i → Velocidad de inyección del material (g/s)
- S_{ps} → Velocidad de inyección del PS (g/s)
- ρ_n → Densidad del material (g/cm³)
- ρ_{ps} → Densidad del PS (g/cm³)

Además de los dos métodos anteriores, el tiempo de inyección se puede conseguir mediante la siguiente ecuación:

$$t_i = \frac{\left(\frac{e_{min} \cdot D_{max}}{R_{fe}}\right)^3}{8 \cdot \left(\frac{T_{exp} - T_{mold}}{T_{mat} - T_{mold}}\right)^3}$$

Donde:

- e_{min} → Espesor mínimo de la pieza (cm)
- D_{max} → Recorrido máximo del fundido desde la entrada del molde (cm)
- R_{fe} → Relación entre recorrido del flujo y el espesor de pared (cm/cm)
- T_{exp} → Temperatura de la pieza en la expulsión (°C)
- T_{mold} → Temperatura del molde (°C)
- T_{mat} → Temperatura del material fundido (°C)

La ecuación supone que el material comienza a solidificarse al entrar en contacto con las paredes de la cavidad del molde, reduciendo así el área a través de la cual puede circular el material fundido que va entrando. Por lo cual, si se aumenta la temperatura del molde, mayor será el tiempo de inyección, pues mayor tiempo se requerirá para que el material se solidifique.

Pero en este caso, el tiempo de inyección es un dato que tenemos al alcance gracias al software Moldflow, ya que se ha diseñado el proceso de inyección con un tiempo de 0.8827 segundos. Con esta información se calculará la velocidad de inyección en función del tiempo de inyección.

$$S_i = \frac{W_p}{t_i}$$

Donde:

- W_p → Peso de la pieza (g)

$$S_i = \frac{410}{0.8827} = 464.48 \text{ g/s}$$

4.5.4.1. Tiempo de solidificación o enfriamiento

El tiempo de enfriamiento inicia desde que termina el tiempo de inyección, durante la aplicación de la presión de sostenimiento y hasta la apertura del molde. Es la etapa más larga del ciclo. En ella se debe asegurar que el material ha solidificado. Suele alcanzar del 50% al 85% del tiempo total.

$$t_{ENF} = \frac{-e_{max}^2}{2 \cdot \pi \cdot \alpha_n} \cdot \ln \left[\frac{\pi \cdot (T_{exp} - T_{mold})}{4 \cdot (T_{mat} - T_{mold})} \right]$$

Donde:

- e_{max} → Espesor máximo de la pieza (cm)
- α_n → Difusividad térmica del material (cm²/°C)

La difusividad térmica es un valor que se puede encontrar en las hojas de datos del material. Sin embargo, es posible calcularlo:

$$\alpha_n = \frac{\lambda_n}{\rho_n \cdot c_p}$$

Donde:

- λ_n → Conductividad térmica (J/s·cm·°C)
- c_p → Calor específico (J/g·°C)

$$\alpha_n = \frac{0.0022}{0.91 \cdot 1.88} = 1.285 \cdot 10^{-3}$$

$$t_{ENF} = \frac{-0.3^2}{2 \cdot \pi \cdot 1.285 \cdot 10^{-3}} \cdot \ln \left[\frac{\pi \cdot (22 - 56)}{4 \cdot (219 - 56)} \right] = 20.16 \text{ segundos}$$

4.5.4.2. Tiempo total del ciclo de inyección

El tiempo de ciclo es un valor que se determina con exactitud hasta que se está produciendo masivamente, ya que son muchos los factores que afectan a la inyección. Aun así, para el diseño del molde es necesario hacer una estimación aproximada.

El tiempo de ciclo esta expresado en la siguiente ecuación:

$$t_c = t_{llen} + t_{comp} + t_{enf} + t_{ap+exp}$$

Donde:

- T_c → Tiempo de ciclo esperado (s)
- T_{llen} → Tiempo de llenado (cierre + inyección) (s)
- T_{comp} → Tiempo de compactación(s)
- T_{enf} → Tiempo de enfriamiento (s)
- T_{ap+exp} → Tiempo de apertura y expulsión de la pieza (s)

$$t_c = 0.99 + 10 + 19.01 + 5 = 35 \text{ segundos}$$

4.5.4. Geometría de la colada

Como ya se ha mencionado anteriormente, la colada es un componente de la pieza inyectada pero que no forma parte de la pieza propiamente dicha.

La sección óptima de la colada es la circular, ya que esta asegura un flujo del fundido adecuado y un enfriamiento uniforme. El diámetro de la colada es:

$$\phi_c = \left(\frac{\sqrt{w_p \cdot \sqrt[4]{l_c}}}{3.7} \right)$$

Donde:

- $\phi_c \rightarrow$ Diámetro de la colada (cm)
- $L_c \rightarrow$ Longitud de la colada (cm)

Cada pieza a fabricar pesa 205 gramos, como este molde está diseñado para hacer tiradas de dos piezas por ciclo, el dato utilizado para el cálculo es 410 gramos.

$$\phi_c = \left(\frac{\sqrt{410 \cdot \sqrt[4]{11}}}{3.7} \right) = 7.39 \text{ cm}$$

4.5.5. Resistencia a pandeo de los expulsores

Para la comprobación de la resistencia de los expulsores frente al pandeo se utilizarán las presiones obtenidas en la simulación en las zonas donde se encuentren los expulsores.

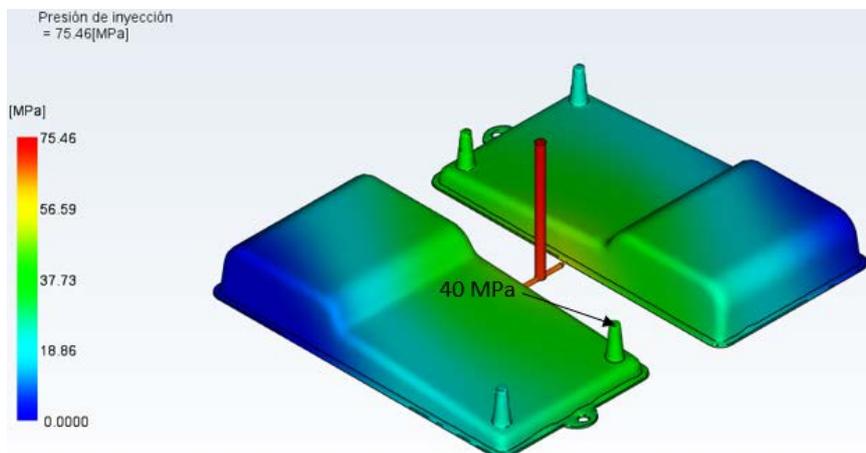


Imagen 30. Presión máxima en expulsores.

Como se puede observar la presión máxima donde se ubica un expulsor es de 40 MPa. La sección de los expulsores es circular de 4 mm de diámetro, y tienen una longitud de 175 mm. Por lo que los datos que tenemos para realizar este cálculo son:

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 2^2 = 12.56 \text{ mm}^2$$

$$P = 40 \text{ MPa} = 40 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$L_{\text{expulsor}} = 175 \text{ mm}$$

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

Para el cálculo se empleará la tensión crítica de Euler:

La base del expulsor va anclada entre las placas expulsoras, que evitan la translación y el giro del mismo en todas las direcciones. Por lo tanto, se tomará como empotrado en la base y articulado en la punta. Por lo tanto:

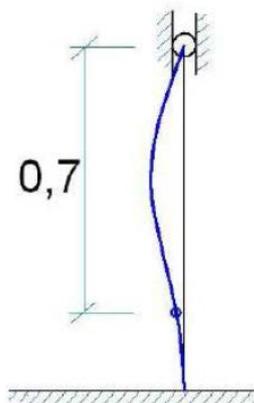


Imagen 31. Factor β .

$$L_{\text{pandeo}} = L_{\text{expulsor}} \cdot \beta = 175 \cdot 0.7 = 122.5 \text{ mm}$$

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

$$\lambda = \frac{L_{\text{pandeo}}}{i} = \frac{122.5 \text{ mm}}{1 \text{ mm}} = 122.5$$

$$\sigma_c = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3}{122.5^2} = 138.1 \text{ MPa} > P$$

Como $\sigma_c > P$ podemos confirmar que los expulsores no sufrirán pandeo.

4.6. Resultados finales

En este apartado se van a mostrar la geometría de las diferentes partes diseñadas para la realización de este proyecto. Las geometrías se pueden ver detalladamente en el documento de planos.

Las partes que se muestran a continuación se pueden dividir en dos grupos, según se encuentren en la parte fija o la parte móvil del molde.

4.6.1. Parte fija

4.6.1.1. Anillo centrador

EL anillo centrador es el encargado de asegurar la correcta colocación del bebedero, y que este no se mueva de su posición en ningún momento. Este componente está normalizado, por lo que se escoge de un catálogo en función de las necesidades.

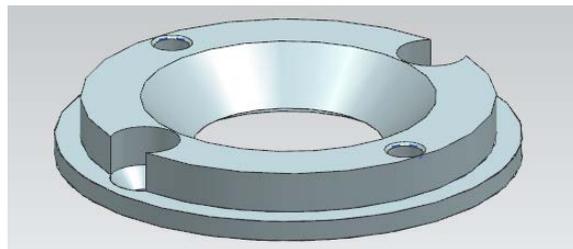


Imagen 32. Anillo centrador.

4.6.1.2. Bebedero

El material plástico se introduce a través del bebedero hasta el interior del molde. El orificio por el que circula el material plástico es de 8 mm de diámetro. Los detalles de este componente se pueden observar en el Plano N° 10.



Imagen 33. Bebedero.

4.6.1.3. Placa superior

En la placa superior es donde se van a encontrar tanto el bebedero como el anillo centrador. El plano en el que se muestran las dimensiones de esta plana es el Plano N° 2.

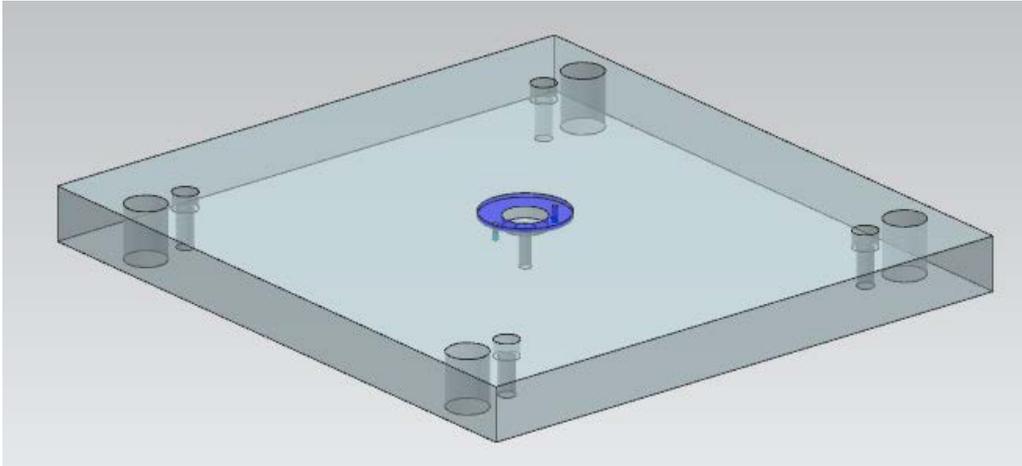


Imagen 34. Placa superior

4.6.1.4. Portacavidades

En la placa portacavidades se encuentran los circuitos de refrigeración, que como se indican anteriormente son de 10 milímetros de diámetro. En el Plano N° 4 se pueden ver las dimensiones del portacavidades.

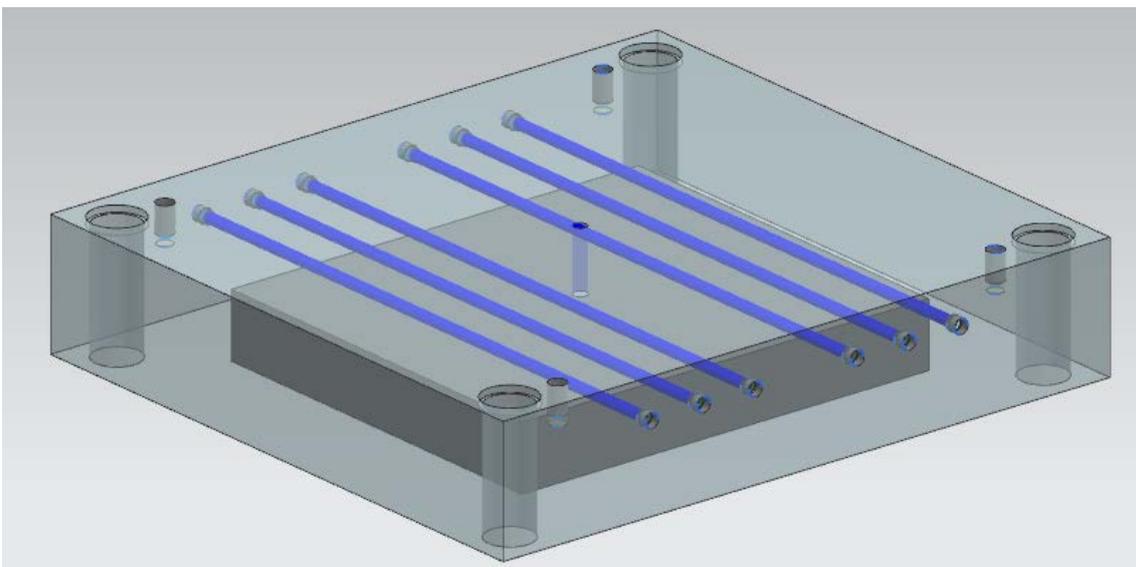


Imagen 35. Placa portacavidades.

4.6.1.5. Cavidades

La geometría de la cavidad se ha hecho en función del modelo 3D de la pieza que se va a fabricar con el molde diseñado. El molde consta de dos cavidades ya que se fabrican dos unidades en cada ciclo. En el Plano N° 5 se muestran las dimensiones de una cavidad.

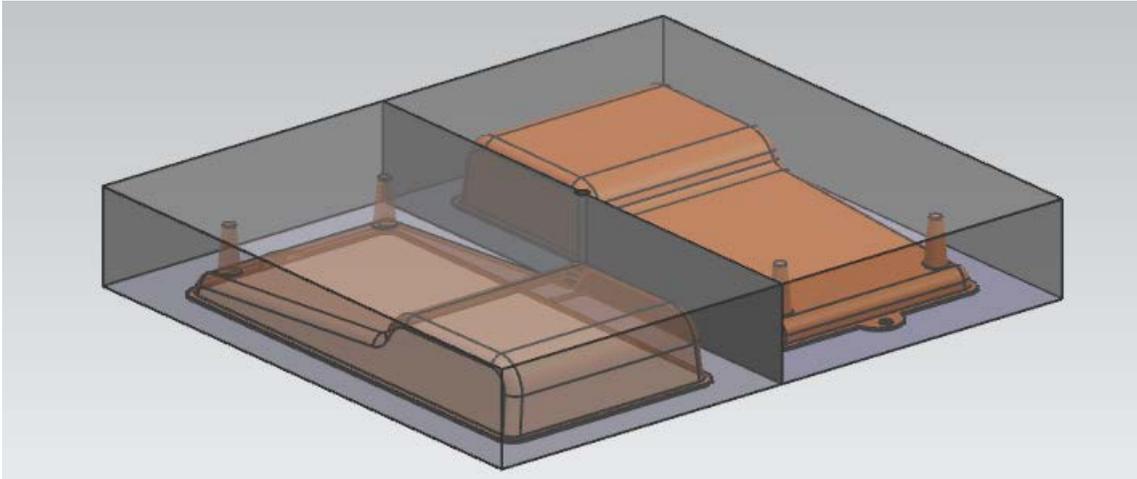


Imagen 36. Cavidades.

4.6.2. Parte móvil

4.6.2.1. Núcleos

La geometría del núcleo se ha hecho en función del modelo 3D de la pieza que se va a fabricar con el molde diseñado. Al igual que en el caso de las cavidades, en el molde se ubican dos núcleos. Para ver la geometría de uno de los núcleos se puede consultar el Plano N° 6.

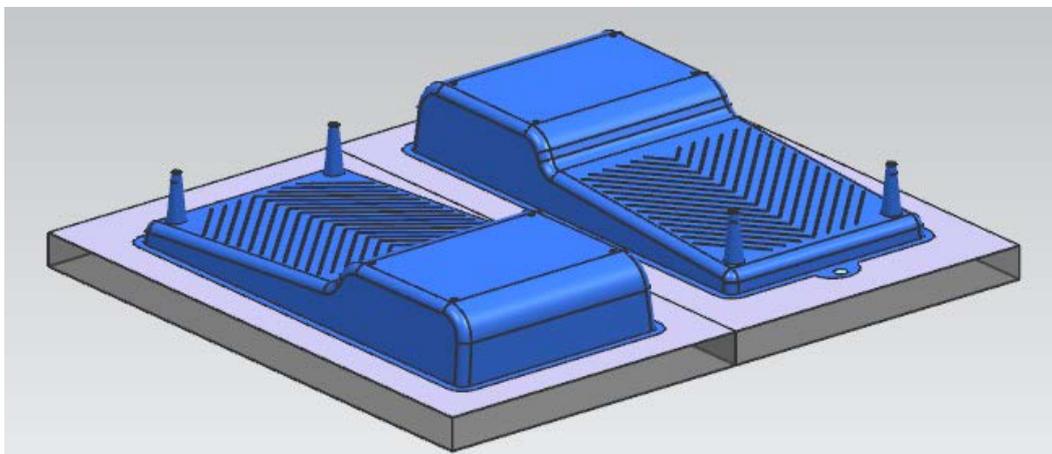


Imagen 37. Núcleos.

4.6.2.2. Portanúcleos

En el portanúcleos lo más destacable son los orificios que existen para el correcto funcionamiento del sistema de extracción. Los detalles de esta parte se pueden observar en el Plano N° 7.

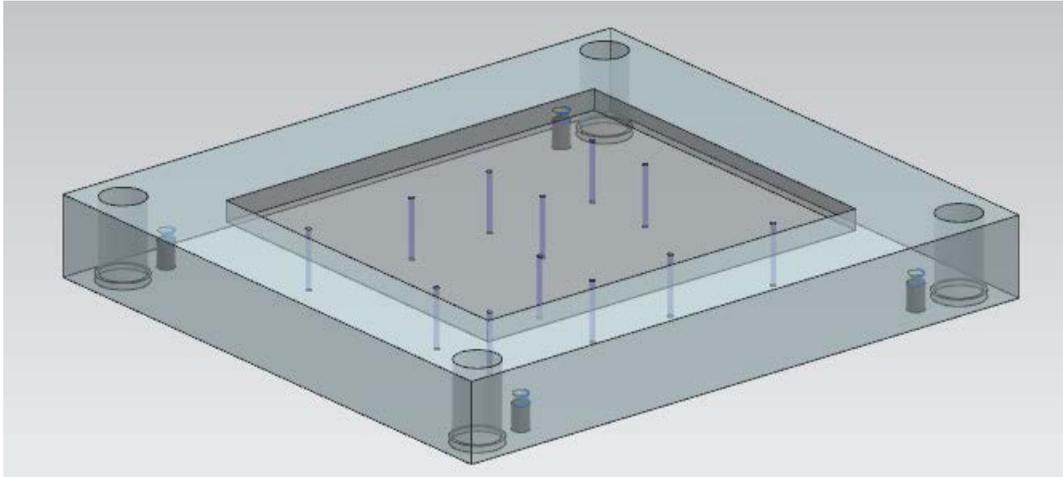


Imagen 38. Placa portanúcleos.

4.6.2.3. Expulsor

Los expulsores son los encargados de empujar a la pieza para facilitar la extracción de la misma. Se han diseñado 6 expulsores por pieza fabricada; es decir, el molde consta de 12 expulsores en total. Estos componentes se pueden encontrar en varios catálogos comerciales, en este caso se opta por unos expulsores de sección circular con un diámetro de 4 mm y una longitud total de 175 mm.

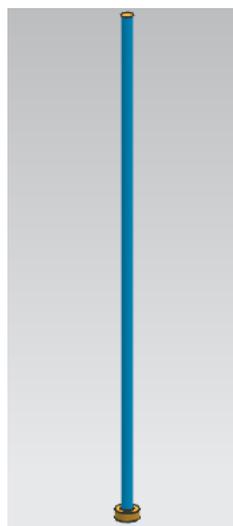


Imagen 39. Expulsor.

4.6.2.4. Portaexpulsores

En esta parte se encuentran los expulsores que van a empujar las piezas fabricadas en la última fase del ciclo. Para observar todas las dimensiones de esta parte del molde se puede recurrir al Plano N° 8.

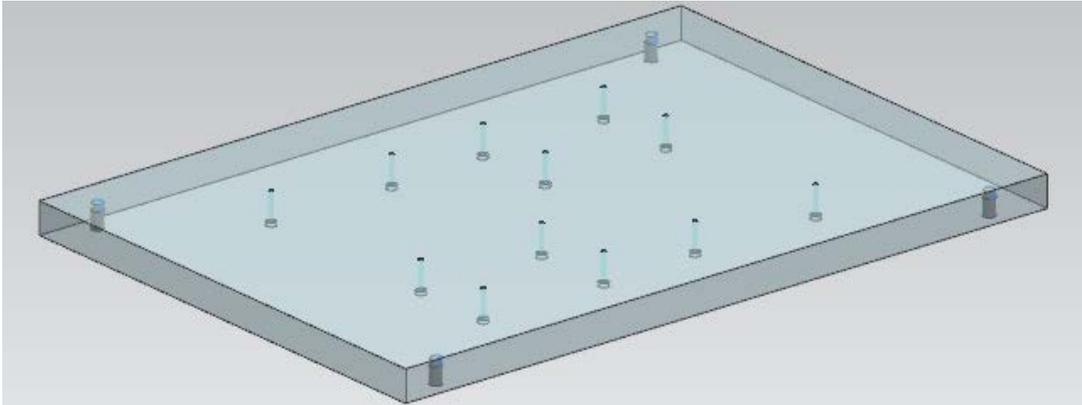


Imagen 40. Placa portaexpulsores.

4.6.2.5. Placa expulsora

Esta placa es la encargada de transmitir el movimiento a la placa portaexpulsores, y a su vez, a los propios expulsores. En el Plano N° 9 se pueden comprobar las dimensiones de esta pieza.

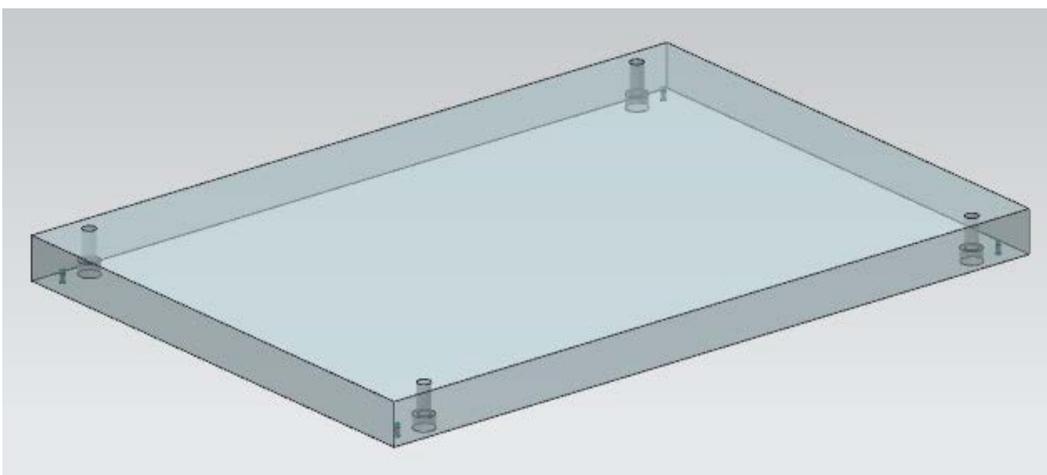


Imagen 41. Placa expulsora.

4.6.2.6. Placa inferior

Esta placa es la que va en contacto con la prensa encargada de realizar los movimientos durante el ciclo de fabricación. Para observar todas las dimensiones de esta parte del molde se puede recurrir al Plano N° 3.

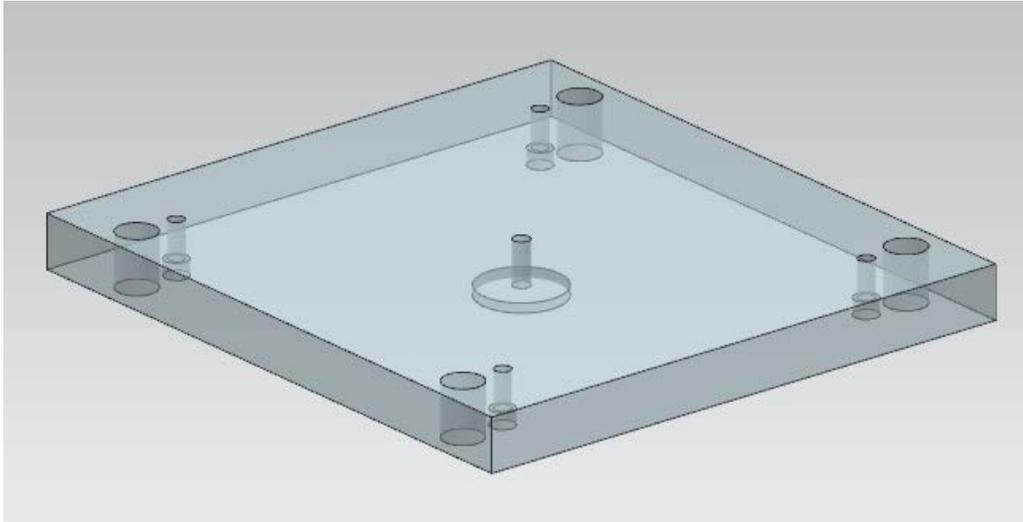


Imagen 42. Placa inferior.