

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO DE UN MOLDE DE INYECCIÓN
PARA TAPACUBOS DE UNA RUEDA DE
AUTOMÓVIL***

DOCUMENTO 3 - CÁLCULOS

Alumno/Alumna: Enríquez, Contreras, Jon

Director/Directora: Lobato, González, Roberto

Curso: 2018-2019

Fecha: lunes, 10, junio, 2019

3. CÁLCULOS

3.1. INTRODUCCIÓN.....	4
3.2. OBJETO DEL DOCUMENTO	4
3.3. DISEÑO DE LA PIEZA	5
3.3.1. Análisis de la pieza	5
3.4. DISEÑO DEL MOLDE	9
3.4.1. Análisis de compactación.....	9
3.4.2. Análisis de refrigeración	11
3.4.3. Análisis de llenado, compactación y refrigeración.....	12
3.5. DIMENSIONAMIENTO GENERAL DEL MOLDE.....	17
3.6. ANTECEDENTES.....	18
3.6.1. Área proyectada	18
3.6.2. Fuerza de cierre	18
3.6.3. Área de contacto	18
3.6.4. Tiempo de inyección.....	18
3.6.5. Cálculo de la colada.....	20
3.6.6. Cálculo de la contracción.....	21
3.7. CÁLCULOS MECÁNICOS.....	22
3.7.1. Capacidad de cierre	22

3.1. INTRODUCCIÓN

Mediante los cálculos realizados gracias a los sistemas informáticos, CAD (diseño asistido por ordenador), CAE (ingeniería asistida por ordenador) y CAM (fabricación asistida por ordenador), se analizan múltiples factores para lograr un eficiente diseño del molde de inyección. Dicho molde será construido con el objetivo de producir una pieza de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).

La pieza a moldear se ha realizado mediante el programa de *Siemens, Unigraphics NX 10.0*. Una vez la pieza esté diseñada, se procede a realizar diversos análisis mediante el software de *Autodesk* para moldes *Moldflow*. Éste mostrará principalmente resultados del análisis de factores referentes a los procesos de llenado, compactación y refrigeración. Con el anterior proceso ya terminado, se pasa a realizar mediante *Nx 10.0* el diseño de los componentes del molde.

3.2. OBJETO DEL DOCUMENTO



Figura 1. Tapacubos

El propósito de este documento tiene como fin justificar cada una de las decisiones adoptadas para el diseño del molde de inyección para la producción de la pieza presentada en acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).

Para lograr este objetivo, se dispondrá tanto para la fase del diseño de la pieza como para la fase del diseño del molde de inyección y su análisis diversos sistemas informáticos CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing) y CAE (Computer Aided Engineering); como se ha anunciado anteriormente.

Todos los cálculos y análisis presentados a continuación permiten la correcta elección de los elementos constituyentes del molde de inyección.

3.3. DISEÑO DE LA PIEZA

Para el diseño final de la pieza se ha optado por estudiar elementos semejantes a la pieza elegida. Después del estudio de la información recopilada, se ha procedido al diseño final del tapacubos, teniendo en cuenta la importancia de su función estética. Hoy en día, los tapacubos están fabricados en la gran mayoría de los casos en acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).

Una vez la realizado el diseño, se realizarán una serie de análisis con el objetivo de saber si las piezas resultan viables para su fabricación mediante inyección plástica.

3.3.1. Análisis de la pieza

Una vez se tiene la pieza final se exporta al programa de simulación de moldes *Moldflow*. En éste se escogerá el material que se va a inyectar y se estudiarán los mejores puntos para inyectar el material posteriormente elegido, y si el llenado será bueno.

3.3.1.1. Elección del material

Mediante un estudio acerca de los materiales que más se utilizan en este tipo de piezas en automoción se ha obtenido que el material más utilizado es el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS). Debido a esto, se va analizar la pieza a fabricar para este tipo de material.

Aunque el material sea el mismo, dependiendo del fabricante, incluso dentro de un mismo fabricante, pueden tener alguna propiedad diferente. Por tanto, en un primer lugar compararemos dos tipos de ABS, comparando el tiempo que tarda en inyectar todo el material en el molde y la confianza de llenado.

Antes de ésta elección del material y el fabricante, se va a realizar un estudio de la idoneidad de la entrada del material en el molde de la pieza, por si hubiese algún defecto en la fabricación de ésta.

3.3.1.2. Idoneidad de las entradas

Antes de seleccionar el material con el que se va trabajar se procede a indicar los puntos idóneos de entrada del material en el molde. Debido a que se trata de una pieza simétrica no es necesario realizar un análisis para saber que la inyección del material debe de hacerse desde el centro de la pieza. Ya que la pieza es de carácter estético, el punto de inyección deberá ser además en un lugar donde no se vean imperfecciones. Esto concuerda con el diseño de la pieza, ya que se ha dejado un lugar en el centro de ésta para la colocación del logotipo de la UPV/EHU, por tanto, cualquier inyección no se verá.

Esto se refleja de la siguiente manera con ayuda del programa:

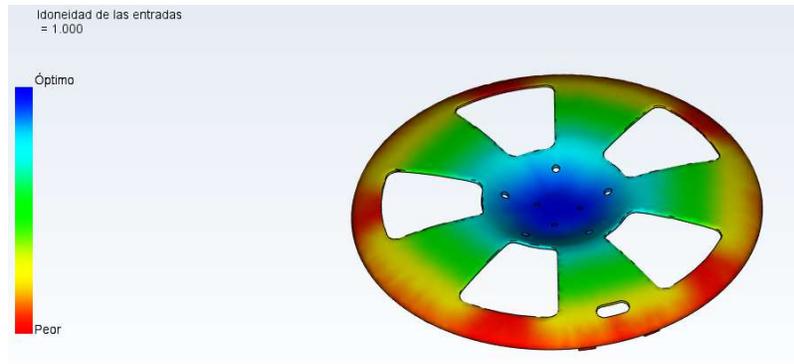


Figura 2. Idoneidad de las entradas

3.3.1.3. Análisis de llenado

Los materiales que se van a comparar son los siguientes:

- Techno Polymer: Techno ABS 170
- Techno Polymer: Techno ABS 330

Para ambos materiales se va suponer los valores que el programa calcula por defecto:

- T^a del molde: 50 C °
- T^a masa fundida: 220 C °
- Presión máxima de inyección de la máquina: 180MPa

Para determinar el material que se va a utilizar para fabricar la pieza se van a estudiar dos parámetros claves: Tiempo de llenado y Confianza de llenado.

Techno Polymer: Techno ABS 170

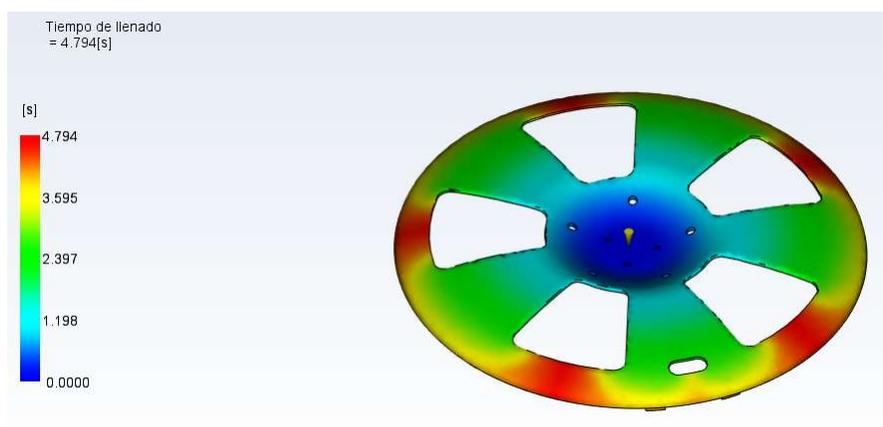


Figura 3. Tiempo de llenado Techno ABS 170

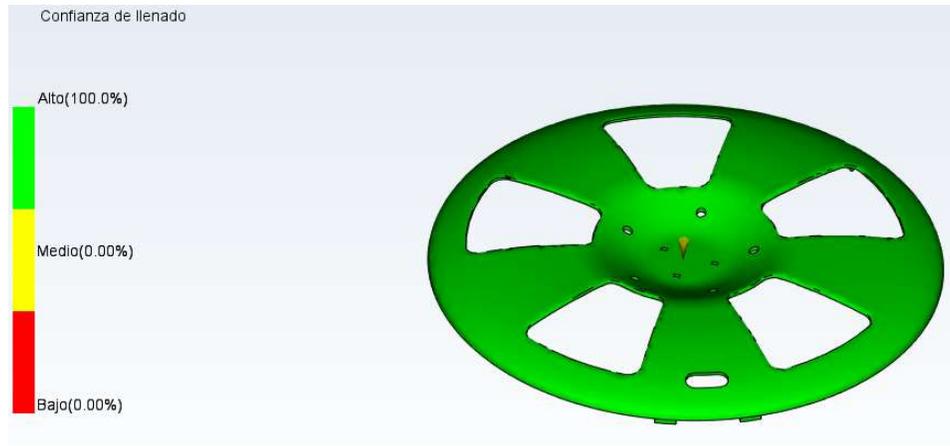


Figura 4. Confianza de llenado Techno ABS 170

Techno Polymer: Techno ABS 330

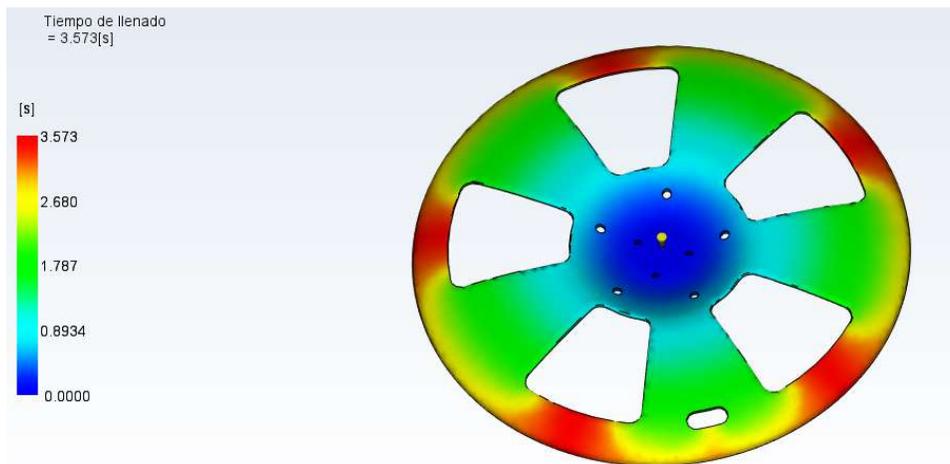


Figura 5. Tiempo de llenado Techno ABS 330

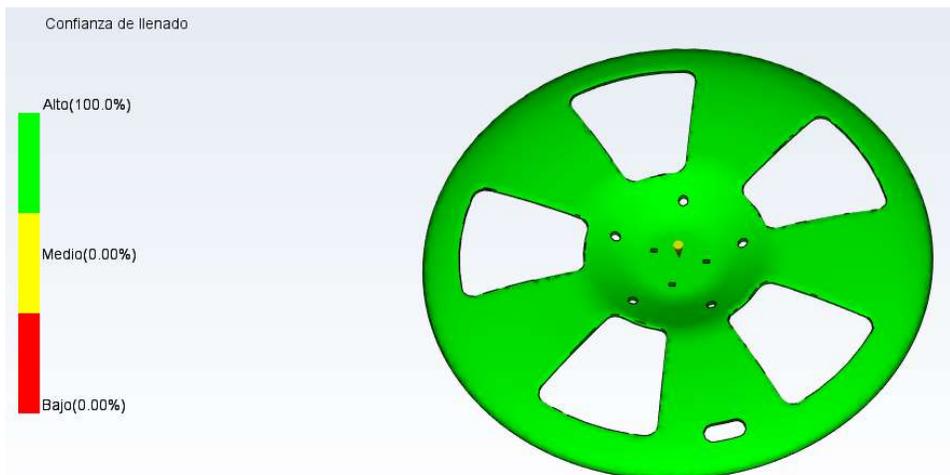


Figura 6. Confianza de llenado Techno ABS 330

Ésta pieza que se utiliza en el sector de la automoción. En éste sector se realizan un gran número de automóviles al día, por tanto, se necesita un gran número de tapacubos. Por este motivo, interesa que el tiempo de llenado del molde sea el menor posible. Comparando los dos materiales que estamos estudiando, el Techno ABS 170 tarda 4.794s en llenar el molde, en cambio, el Techno ABS 330 tarda 3.573s.

Utilizando éste criterio, el Techno ABS 330 sería el mejor material para la fabricación de la pieza, pero antes de seleccionarlo definitivamente, se debe comparar la confianza de llenado de la pieza para ambos materiales.

En éste caso, la confianza de llenado para ambos materiales es la misma, así que el material elegido para nuestra pieza es Techno ABS 330 de Techno Polymer.

3.4. DISEÑO DEL MOLDE

En este apartado se realizarán análisis del molde para comprobar que el diseño se ha realizado de manera adecuada. Entre éstos análisis se encuentran un análisis de llenado, compactación y refrigeración.

En primer lugar, hay que recrear las partes del molde necesarias para el análisis. Para ello, en *Moldflow* se define el molde como “cavidad única” y mediante las diversas herramientas que hay el programa se construye el núcleo y la cavidad del molde. Éstas no se pueden realizar de forma circular como se ha realizado en el diseño final de la pieza, pero éste nuevo diseño de forma rectangular sirve para realizar los análisis necesarios con unos resultados adecuados. Las dimensiones de estas placas son:

- Núcleo: 275x275x78mm
- Cavidad: 275x275x84mm

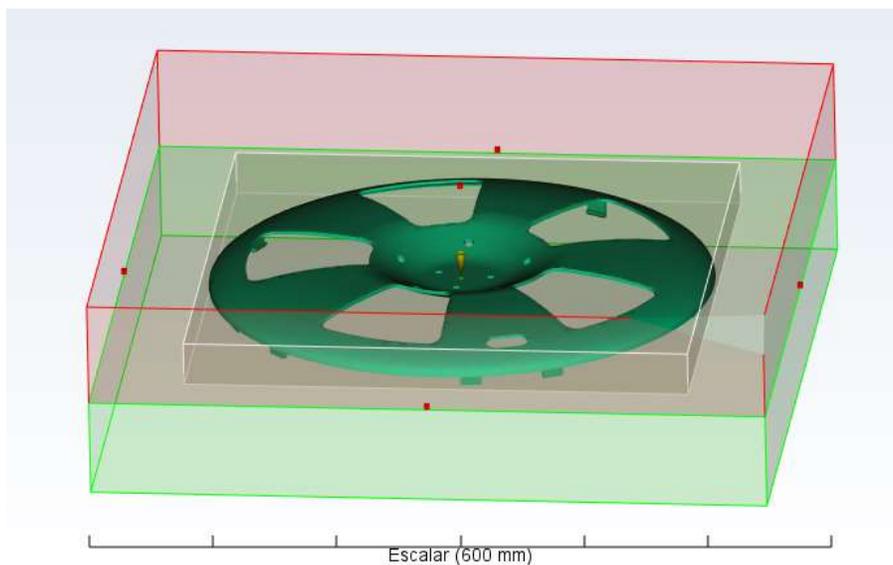


Figura 7. Núcleo y Cavidad Moldflow

3.4.1. Análisis de compactación

Según funciona el programa informático, al ser un molde de una sola cavidad donde solo se realiza una pieza al mismo tiempo, no será necesario colocar canales de distribución puesto que el material entrará perpendicularmente en el punto de inyección colocado en el apartado anterior. Sin embargo, hay que indicar ciertos parámetros para la obtención de resultados adecuados.

Para el análisis, *Moldflow* nos pide establecer el diámetro superior y el diámetro inferior del punto de inyección. Éstos han sido definidos de la siguiente manera:

- Diámetro inicial: 10mm
- Diámetro final: 2 mm

Una vez definido esto, se dispondrá a realizar el análisis de compactación. En éste se estudiará la presión de inyección, los rechupes y la temperatura de la pieza, que nos proporcionará información para determinar si se necesita un sistema de refrigeración.

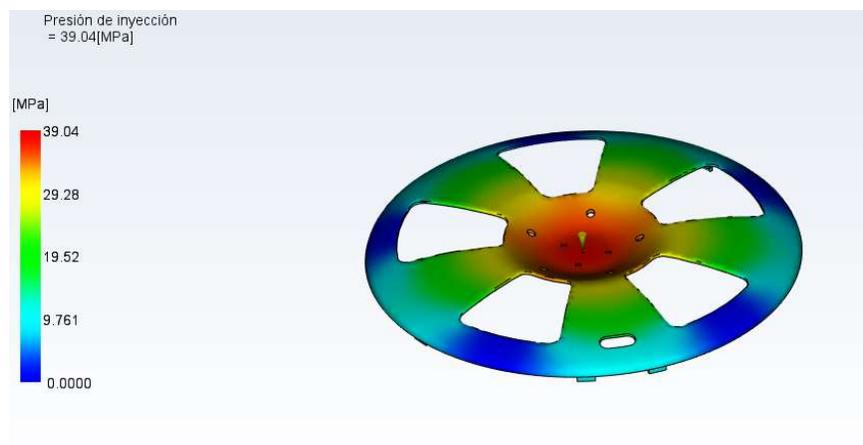


Figura 8. Presión de inyección

El resultado que nos proporciona el programa es que la presión de inyección es de 39.04 MPa. Teniendo en cuenta que, como se ha expresado anteriormente, la máxima presión de inyección que proporciona la máquina es 180 MPa se podrá realizar la inyección del material.

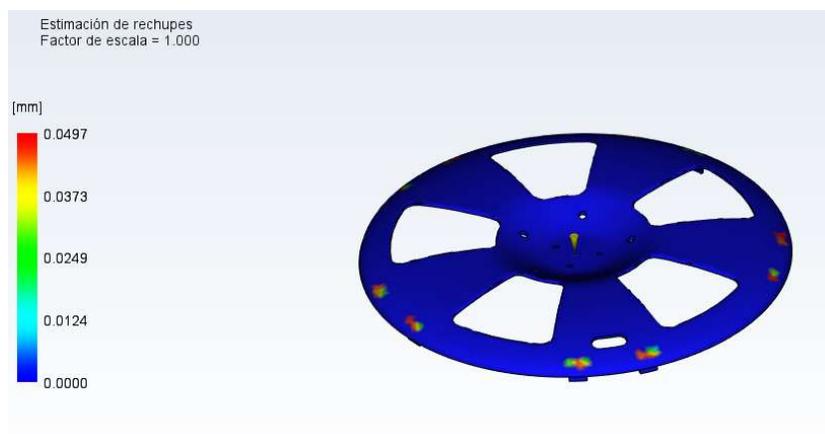


Figura 9. Estimación de rechupes

Según se ve, aparecen pequeños rechupes en sitios muy localizados, exactamente en la base de las pestañas. Al visualizar la escala, se aprecia que estos rechupes son menores a 0.05mm, por lo que no suponen ningún problema en cuanto al diseño de la pieza ni en el proceso de fabricación.

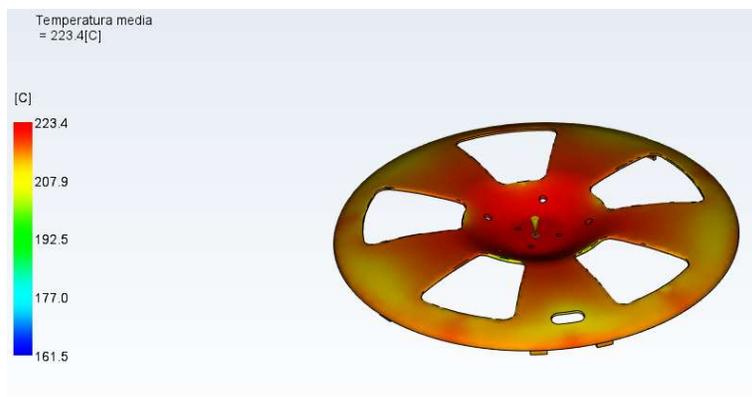


Figura 10. Temperatura media

El análisis de la temperatura media nos proporcionará información para determinar si se necesitará un sistema de refrigeración. Como se aprecia, la temperatura máxima será de unos 223.4°C en el momento de inyección de plástico. Debido a esto, se deberá diseñar un adecuado sistema de refrigeración para que el material llegue a una temperatura por debajo de su temperatura de solidificación y así poder sacar la pieza.

3.4.2. Análisis de refrigeración

Para la construcción del sistema de refrigeración hay que comenzar sabiendo las zonas críticas donde cueste más refrigerar. Por éste motivo, hay que realizar un análisis de “calidad de refrigeración”. Con este análisis se puede identificar las modificaciones necesarias en la geometría de la pieza con objeto de evitar la refrigeración diferencial, que pueda producir deformaciones.

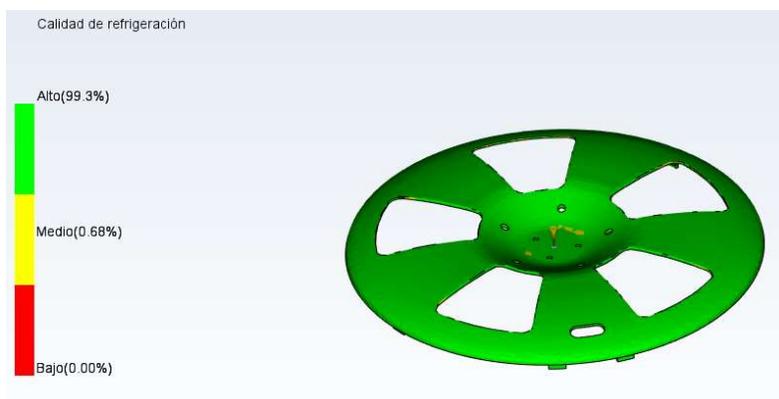


Figura 11. Calidad de refrigeración

Después de realizar el análisis, se aprecia que debido a la geometría de la pieza la calidad de la refrigeración es óptima en todos los puntos.

El sistema de refrigeración diseñado teniendo en cuenta la geometría de la pieza será la siguiente:

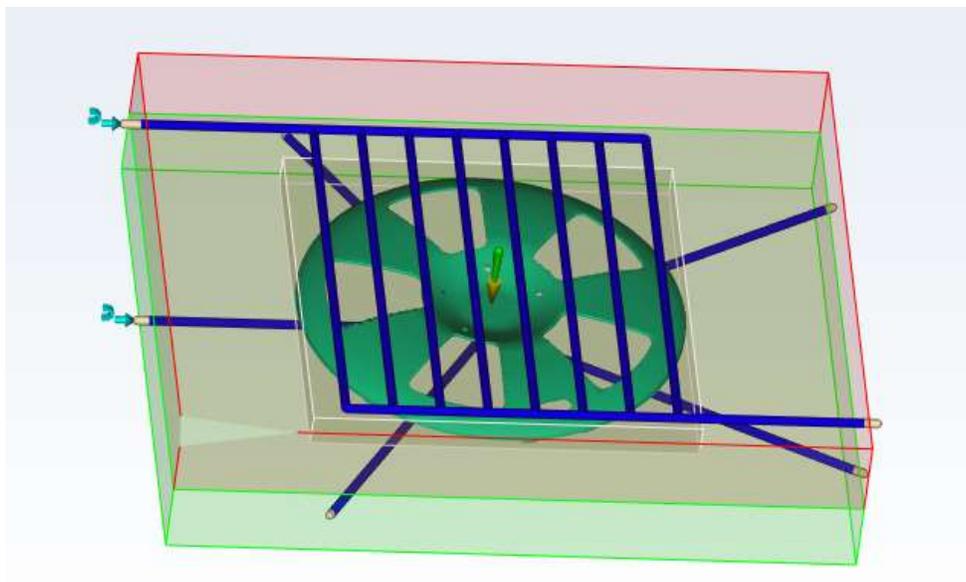


Figura 12. Sistema de refrigeración

Se ha optado por diseñar dos planos de refrigeración de la pieza ya que, como se ha dicho anteriormente, el tiempo es un factor importante en la fabricación de ésta pieza. Cuanta más refrigeración antes solidificará la pieza y más rápido será el proceso de fabricación.

Los canales de refrigeración se realizan por medio de agujeros hechos por medio de taladros, por tanto, esto limita a la hora de diseñar el sistema de refrigeración.

En la placa superior (cavidad) se ha optado por una distribución de la refrigeración uniforme con 8 tubos de 10 mm de diámetro separados 50 mm entre si abarcando toda la superficie del tapacubos.

En la placa inferior (núcleo), en cambio, debido a que hay elementos que interfieren para la realización de unos canales de refrigeración como el anterior, se ha optado por que confluyan 5 canales en el centro de la pieza de diámetro 10 mm.

Como refrigerante en ambos casos se ha optado por utilizar agua pura a una temperatura de 25°C y con una velocidad de flujo de 10 l/min.

El siguiente paso a realizar, es el análisis completo del molde con éste diseño de refrigerante. En él se podrá comprobar si los sistemas definidos hasta el momento son válidos, en caso contrario se realizarán ajustes hasta conseguir el diseño óptimo.

3.4.3. Análisis de llenado, compactación y refrigeración

Una vez construido el sistema de alimentación y de refrigeración del molde se realiza un análisis de llenado, refrigeración y compactación de la pieza, donde obtenemos resultados relativos a éstos.

3.4.3.1. Estudio de llenado

Realizando el estudio de llenado, el software nos proporciona los siguientes datos que definen las características de la pieza y del molde:

Tiempo real de llenado	3.63 (s)
Presión real de inyección	39.298 (MPa)
Área de fuerza de cierre	929.5765 (cm ²)
Fuerza de cierre máx. durante el llenado	177.675 (tonelada)
Conmutación de velocidad/presión a % volumen	98.37 (%)
Conmutación de velocidad/presión en tiempo	3.54 (s)
Peso total de la pieza al final del llenado	285.999 (g)
Volumen de inyectada	300.9317 (cm ³)
Volumen de la cavidad	298.3346 (cm ³)
Volumen del sistema de canales	2.5970 (cm ³)

Tabla 1. Datos inyección

3.4.3.1.1. Tiempo de llenado

El dato que proporciona el programa sobre el tiempo de llenado, es que éste se realiza en 3.63 s. Éste es un tiempo aceptable ya que no es muy elevado y permite la realización de piezas cada poco tiempo.

También se verifica en éste análisis que el flujo del llenado es correcto y que no existen huecos sin rellenar en la pieza.

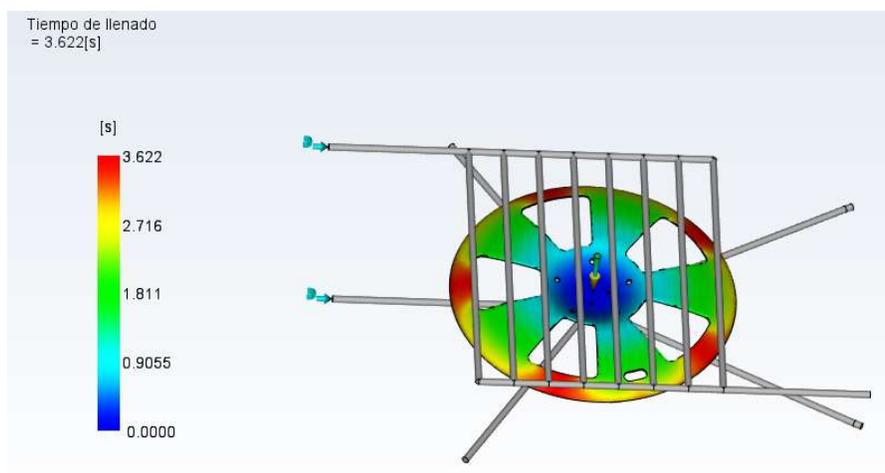


Figura 13. Tiempo de llenado

3.4.3.1.2. Atrapamientos de aire

Se utiliza para calcular la calidad de las propiedades mecánicas y apariencia de la pieza. Éste es un resultado que depende de la presión y la temperatura de la pieza entre otros parámetros.

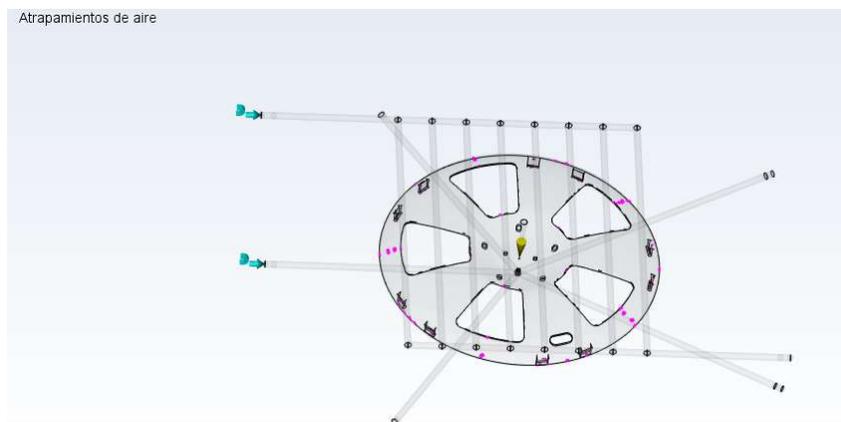


Figura 14. Atrapamientos de aire

El software nos muestra los puntos dónde se puede dar el caso en el que haya atrapamientos de aire en la pieza. Estos defectos se solucionan mediante venteos. Los venteos son unos agujeros de orden infinitesimal mediante los cuales pasa el aire pero no pasa el fluido, en éste caso ABS.

3.4.3.1.3. Líneas de soldadura

Son zonas donde se encuentran dos flujos de material distinto en el proceso de llenado del molde, y se deben a la geometría de la pieza.

Para conseguir que las líneas de soldadura no perjudiquen la calidad estructural de las piezas, éstas deberán formarse a una temperatura no inferior a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre la temperatura de inyección y la temperatura existente en la línea de soldadura. Para conseguir un resultado óptimo se debe comprobar que estas líneas no aparezcan en zonas donde la temperatura sea inferior a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

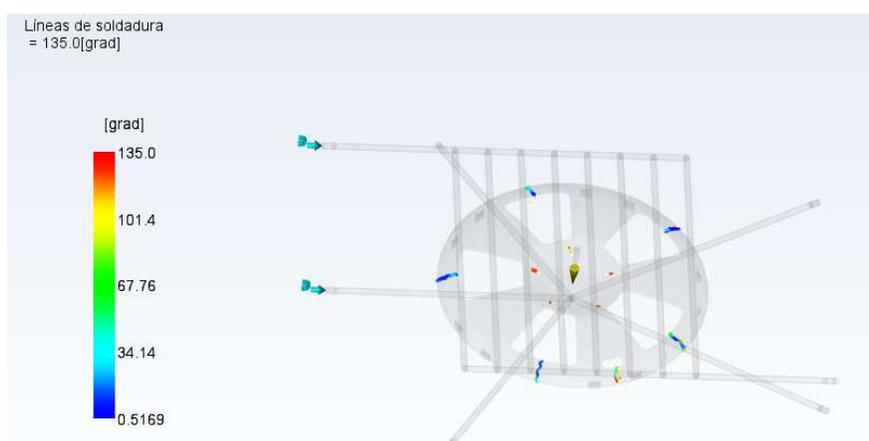


Figura 15. Líneas de soldadura

Como se aprecia en imágenes anteriores, la temperatura en el frente de flujo está entre los $205\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente, por tanto, las líneas de soldadura que aparecen no perjudican notablemente la calidad de la pieza.

3.4.3.2. Estudio de compactación

A continuación se realizará el estudio de compactación. El resultado principal de este estudio es el tiempo necesario para alcanzar el tiempo final del ciclo. Junto con esto, también indica la fuerza de cierre necesaria en el molde.

Como se puede ver a continuación, el tiempo que dura la compactación es de 10 s y en ese tiempo es necesaria una presión constante de 31,438 MPa.

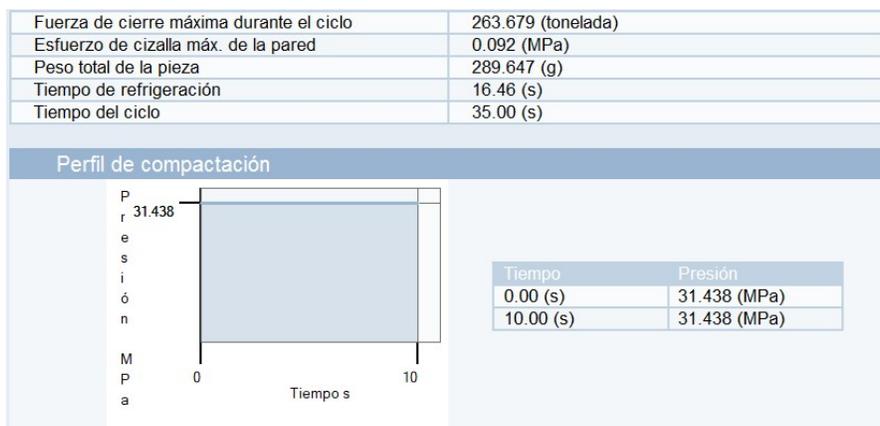


Tabla 2. Datos de compactación

El peso proporcionado en los resultados de compactación corresponde al dato del peso final de la pieza, 289.647 g en éste caso. Esto es debido a que la fase de compactación es la última del ciclo de inyección. A continuación, se muestra en forma de gráfico los tiempos de todas las fases del ciclo de inyección.



Gráfico 1. Tiempos de ciclo

3.4.3.3. Estudio de refrigeración

El análisis de refrigeración muestra que influencia tienen los canales de refrigeración, los materiales del molde y las propiedades refrigerantes sobre la transferencia de calor durante el proceso de inyección.

Temperatura máxima, pieza	66.4 (C)
Temperatura mínima, pieza	47.4 (C)
Temperatura media, pieza	55.5 (C)
Temperatura exterior del molde	28.6 (C)

Tabla 3. Temperaturas estudio refrigeración

3.4.3.3.1. Temperatura del líquido refrigerante

En el siguiente resultado podemos ver cómo varía la temperatura del refrigerante a través del circuito de refrigeración.

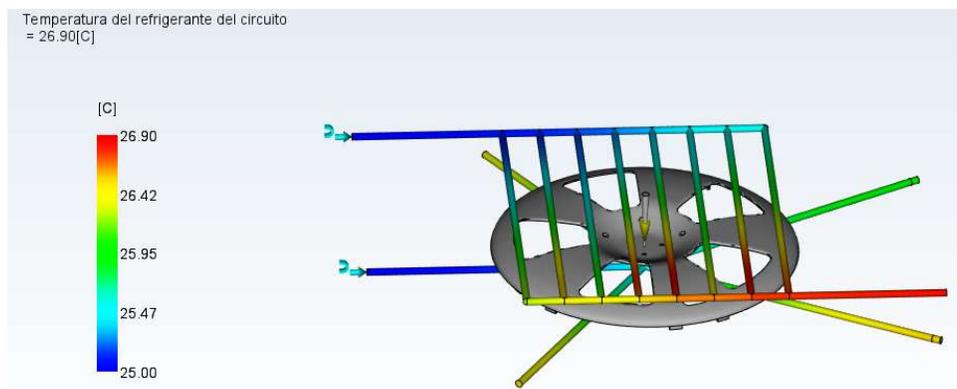


Figura 16. Temperatura del refrigerante del circuito

El cambio de temperatura entre la entrada y la salida del circuito de refrigeración debe estar entre 2°C y 5°C , de lo contrario habría que rediseñar el circuito de refrigeración debido a que no sería eficiente. Para este circuito, la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida es de 2.9°C , lo que significa que es un buen sistema de refrigeración.

3.4.3.3.2. Temperatura de la pieza

A continuación, se muestra la temperatura media de la pieza. Se aprecia que según se aleja del centro, la temperatura va disminuyendo radialmente siendo la parte central la que más calor concentra.

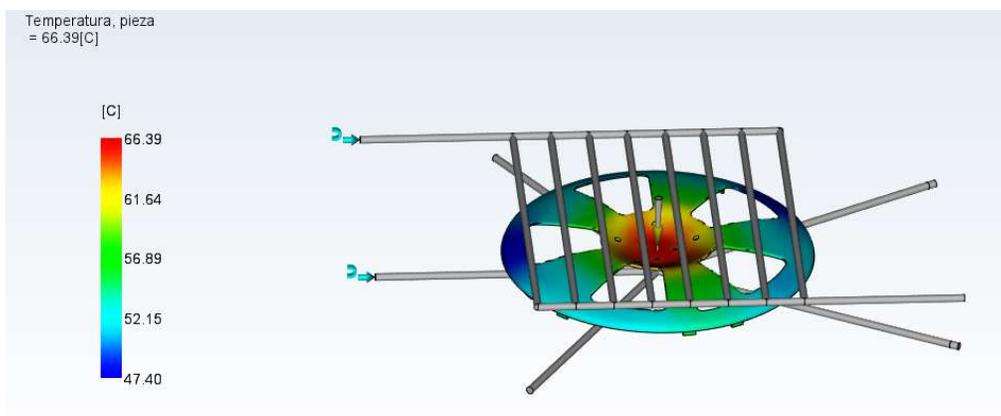


Figura 17. Temperatura de la pieza

3.5. DIMENSIONAMIENTO GENERAL DEL MOLDE

Se ha realizado el dimensionamiento general del molde a partir de las dimensiones del núcleo y la cavidad. El tipo de molde elegido ha sido *HASCO_E Type 4 (F2M1)* de la biblioteca de moldes de *Moldwizard*, módulo de *Unigraphics Nx10.0*. En éste caso, el molde tendrá una altura de 401 mm y las dimensiones de la base son 746x646 mm.

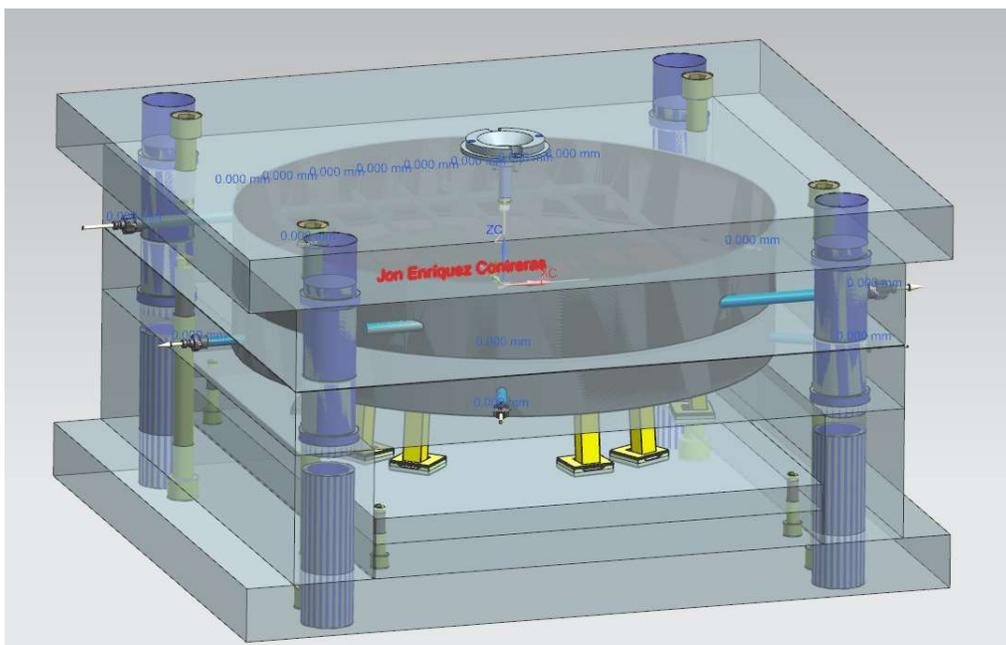


Figura 18. Molde de Inyección

Se ha utilizado el software *Nx10.0* para el diseño del molde de inyección, junto a sus piezas. Las piezas no comerciales del proyecto están especificadas en “Documento 4 – Planos”.

3.6. ANTECEDENTES

En este apartado se mostrará, de forma resumida, la base teórica que fundamenta los programas de simulación de moldes para facilitar el análisis de piezas de moldes.

3.6.1. Área proyectada

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

3.6.2. Fuerza de cierre

Durante la fase de llenado se genera presión dentro de la cavidad del molde, esta presión es debida a la fuerza de inyección con la que la unidad de plastificación empuja al polímero fundido dentro de la cavidad.

La fuerza de cierre requerida por el molde para el mantenimiento uniforme de las presiones está en función de la presión dentro de la cavidad del molde, de acuerdo con la siguiente fórmula.

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

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).

3.6.3. Área de contacto

Es el área mínima necesaria para soportar la fuerza de cierre (F_c) en la cavidad del molde. Es importante hacer un buen cálculo de esta área para que no surjan muchos veteos y, por lo tanto, minimizar los problemas causados por estos fenómenos.

$$A_c = \frac{F_c}{\sigma_c}$$

Donde:

A_c : Área de contacto (cm²).

F_c : Fuerza de cierre requerida de la maquina (kg).

σ_c : Factor de esfuerzo por contacto (MPa).

3.6.4. Tiempo de inyección

El cálculo del tiempo de inyección se expresa a través de la siguiente fórmula.

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

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).

Con esta información se calculará el tiempo de inyección en función de la velocidad de inyección.

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

Donde:

W_p : Peso de la pieza (g).

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.

3.6.4.1. 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).

3.6.4.2. 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. Aún así para el diseño del molde es necesario hacer una estimación aproximada. El tiempo de ciclo esta expresado en la siguiente ecuación.

$$t_c = t_{cm} + t_i + t_{enf} + t_{ap} + t_{exp}$$

Donde:

t_c : Tiempo de ciclo esperado (s)

t_{cm} : Tiempo de cierre de molde (s)

t_i : Tiempo de inyección (s)

t_{enf} : Tiempo de enfriamiento (s)

t_{ap} : Tiempo de apertura del molde (s)

t_{exp} : Tiempo de expulsión de la pieza (s)

3.6.5. Cálculo 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.

3.6.5.1. Geometría de la colada

La sección óptima de la colada es la circular, ya que esta asegura un flujo del fundido favorable 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:

ϕ_c : Diámetro de la colada (cm).

l_c : Longitud de la colada (cm).

3.6.5.2. Orificio de llenado

Para calcular el diámetro del orificio de llenado se necesita conocer la tasa de corte o velocidad de corte. Esta tasa se obtiene de la ley de potencia. También puede ser conseguido mediante un viscosímetro rotacional.

$$\phi_g = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot Q_m}{\pi \cdot \gamma}}$$

Donde:

ϕ_g : Diámetro del orificio de llenado (cm).

γ : Tasa o velocidad de corte (1/s).

Además la tasa de corte puede ser calculada a través de la fórmula de Bingham para análisis de los fluidos no newtonianos independientes del tiempo.

$$\tau_r = \tau_o + \eta_p \cdot \gamma$$

Donde:

η_p : Viscosidad plástica (N·s/cm²).

τ_r : Esfuerzo cortante del fluido reológico (N/cm²).

τ_o : Esfuerzo de fluencia del fluido reológico (N/cm²).

3.6.6. Cálculo de la contracción

El cálculo del porcentaje de contracción está en función de la longitud de la pieza y la longitud de la cavidad.

$$R_c = \frac{d_m - d_p}{d_m}$$

Donde:

R_c : Rango de contracción (cm/cm).

d_m : Dimensión requerida en el molde (cm).

d_p : Dimensión requerida en la pieza (cm).

Además de la anterior ecuación, el rango de contracción puede ser elegido de las hojas técnicas del material. En estas hojas también aparecerá como un porcentaje.

La contracción en un molde se considera uniforme en todas las direcciones de la pieza a fabricar.

3.7. CÁLCULOS MECÁNICOS

A pesar de haber realizado la mayoría de los cálculos con el software de simulación *Moldflow*, se va a calcular de manera analítica la capacidad de cierre del molde.

3.7.1. Capacidad de cierre

La fuerza de cierre que es capaz de ejercer la máquina ha de ser mayor que la fuerza de apertura que se generé durante la inyección.

$$F_{Cierre} > F_{Apertura}$$

La presión transmitida al molde es menor que la presión de salida del cilindro, reduciéndose en función a ciertos atributos del material, especialmente la viscosidad, inversamente proporcional a la capacidad de transmisión. El material que entra en la cavidad se enfría continuamente creando un diferencial de temperatura a lo largo de la línea de cierre que influirá en la distribución de presiones. Por lo tanto, la presión media tiene el valor de la presión de inyección aplicándole sus pérdidas de transmisión y diferencia de temperatura.

En conclusión, la fuerza que tiende a abrir el molde ($F_{apertura}$) durante la inyección es el producto de la presión media (P_m) a lo largo del cierre y del área proyectada de la pieza (A_p), donde el área proyectada el área que abarca la huella de la pieza y de los canales en el plano de cierre.

$$F_{Apertura} = P_m \cdot A_p$$

El valor de la presión media se ha obtenido mediante *Moldflow*. Haciendo la simulación completa del proceso, el programa calcula directamente el valor de dicha presión:

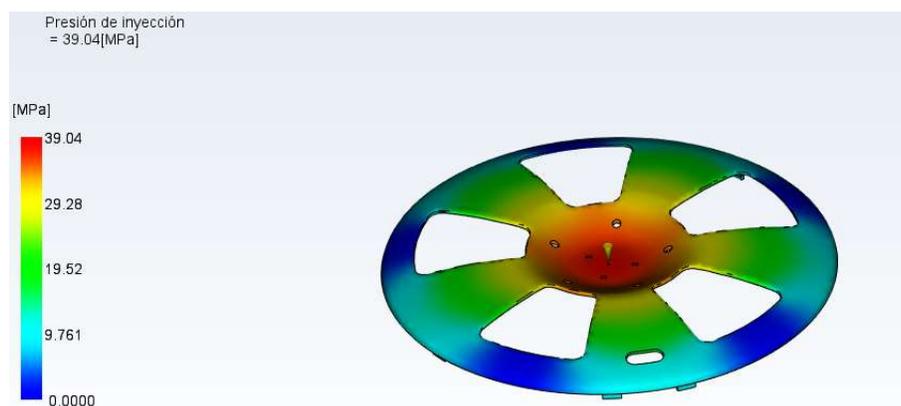


Figura 19. Presión media de inyección

Siendo:

$$P_m = 39,04 \text{ MPa} = 398,091 \text{ kg/cm}^2$$

A continuación, para determinar si la máquina es capaz mantener el molde cerrado, habrá que calcular en el área proyectada de la pieza.

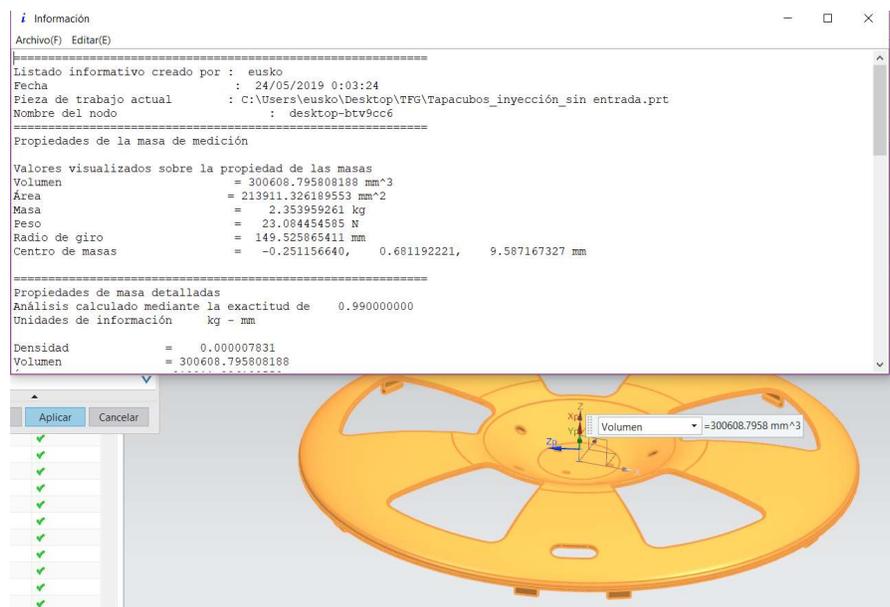


Figura 20. Datos de la pieza

De la imagen tenemos que: $A_p = 213911,326 \text{ mm}^2$

Sustituyendo de la fórmula:

$$F_{Apertura} = P_m \cdot A_p = 398,091 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{0,001\text{T}}{1\text{kg}} \cdot 213911,326 \text{ mm}^2 \cdot \frac{0.01 \text{ cm}^2}{1 \text{ mm}^2}$$

$$F_{Apertura} = 851,561 \text{ T}$$

$$F_{Cierre} > F_{Apertura}$$

$$F_{Cierre} > 851,561 \text{ T}$$

Para que no haya riesgo de apertura del molde durante el proceso de inyección, la fuerza de cierre F_{cierre} tiene que ser mayor a 851.561T.