

GRADO EN INGENIERIA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO DE UN PROCESO DE
INYECCIÓN PLÁSTICA PARA LA
FABRICACIÓN DE CARCASAS DE
FOCOS DELANTEROS DE MITSUBISHI
LANCER EVO***

DOCUMENTO 3- <ANEXOS>

Alumno/Alumna: <Guerricabeitia, López, Gorka>

Director/Directora (1): <Pombo, Rodilla, Iñigo>

Curso:<2017-2018>

Fecha:<Bilbao, 23, 07, 2018>

Índice anexos

3.1 Datos de partida	2
3.1.1 Datos de la pieza	2
3.1.2 Datos de material	2
3.2 Cálculo de la fuerza de cierre	2
3.3 Cálculo del sistema de distribución	3
3.3.1 Cálculo del bebedero	3
3.3.2 Cálculo de los canales de distribución	5
3.3.3 Cálculo de entrada	6
3.4 Enfriamiento	8
3.4.1 Cálculo del tiempo de enfriamiento.....	8
3.4.2 Determinación del calor disipado	9
3.4.3 Disposición del sistema de enfriamiento del molde	10
3.5 Cálculo de los expulsores	11
3.5.1 Resistencia de los expulsores a pandeo.....	11
3.6 Interpretación de datos del Moldflow	13
3.6.1 Regiones de entrada	14
3.6.2 Asistente de canales.....	14
3.6.3 Predicción de la calidad en el prellenado.....	15
3.6.4 Refrigeración.....	20
3.6.5 Llenado final	24
3.6.6 Compactación.....	28
3.6.7 Rechupes.....	28
3.6.8 Deformación.....	29

3.1 Datos de partida

3.1.1 Datos de la pieza

- Área proyectada: 106041,42 mm²
- Volumen de la pieza: 264502,124 mm³
- Masa de la pieza: 0,341 Kg

3.1.2 Datos de material

Material a inyectar	Policarbonato
Contracción	0,4%-0,6%
Conductividad térmica	0,20 W/mK
Densidad	1,29 g/cm ³
Presión de inyección	120-150 Mpa
Temperatura de fusión	270°C
Capacidad calorífica específica	1630g.K

3.2 Cálculo de la fuerza de cierre

En este apartado se analizará la fuerza necesaria para compensar las fuerzas generadas en el interior de la cavidad de moldeo como consecuencia del proceso de inyección. Si la fuerza de cierre aportada por la máquina es demasiado pequeña, durante la transformación se producirá una apertura del molde.

La fuerza de cierre es aquella que mantiene unidas las dos mitades del molde mientras en la cavidad de moldeo se desarrolla la máxima presión como consecuencia de su llenado. Por ello, la máquina a utilizar debe ejercer una fuerza de cierre superior a la fuerza expansiva. Usualmente este valor se expresa en toneladas [Tn].

Si la fuerza de cierre es insuficiente el molde tenderá a abrirse y el material escapará por la unión del molde, esto hará que la pieza quede defectuosa, ya que dejara rebabas.

Se denomina fuerza expansiva a la resultante de multiplicar la presión en el interior del molde por la proyección del área de la pieza en la dirección de apertura o desmoldeo de la máquina. Es común utilizar el área proyectada de una pieza (área que representa perpendicularmente a la unidad de cierre el total de la cavidad) para determinar la fuerza de cierre requerida, excluyendo posibles huecos o agujeros de la pieza. La fórmula para el cálculo de cierre es la siguiente:

$$F_c = P \times A \quad (1)$$

- Fc= Fuerza de cierre. (Tn)
- P= Presión de inyección media (Pmedia= 150 MPa)
- A= Área proyectada (A=106041,42mm²)

Después de realizar los cálculos se obtiene una fuerza de cierre necesaria de:

$$F_c = 15906213N = 1622 \text{ Tn}$$

Esto quiere decir, que se necesita una máquina que como mínimo tenga una fuerza de cierre de 1622 Tn, no siendo recomendable acercarse tanto a este límite.

La máquina de inyección de plásticos es la Serie-E - E1055 de RAORSA y tiene una fuerza de cierre de hasta 2055 Tn. y su unidad de inyección tiene un volumen de inyección y una presión de inyección variable en función del diámetro del husillo. En la siguiente tabla se pueden ver los datos de la máquina.



INYECCIÓN				
Diámetro husillos	mm	105	115	130
L/D husillos	L/D	21,5	20	17,7
Volumen inyección	cm ³	4935	5920	7555
Peso inyección	g	4442	5328	6800
Presión inyección	bar	2235	1353	1453
Índice inyección	g/seg	705	655	1000
Recorrido husillo	mm	570		
CIERRE				
Fuerza cierre teórica	Ton	1055		
Fuerza cierre eficaz	Ton	1055		
Máx. Recorrido apertura	mm	1500		
Mín. Espesor molde	mm	600		
Máx. espesor molde	mm	1300		
Apertura máxima	mm	2400		
Distancia columnas	mm	150x1150		
Diámetro columnas	mm	200		
Máx. Recorrido expulsión	mm	400		

3.3 Cálculo del sistema de distribución

3.3.1 Cálculo del bebedero

El orificio del bebedero siempre tiene que ser más grande que el orificio de la boquilla de la prensa. Normalmente el manguito de bebedero debería tener un

orificio de unos 0.8mm (1/32") más grande que el orificio de la boquilla de prensa. La diferencia en diámetros ayuda al bebedero a desprenderse de la boquilla y la mitad estacionada del molde.

La alineación de la boquilla y el manguito de bebedero pueden ser chequeada apretando una pieza de papel entre ellos. Además de inspeccionar la alineación, la misma inspección dirá si la boquilla y el manguito del bebedero encajan bien o si están dañadas pudiendo causar escapes.

Por eso el diámetro superior del bebedero elegido es de 5 mm. La pieza pieza tiene un espesor máximo de pared de 5 mm, con lo que a partir de la siguiente fórmula definiremos el diámetro inferior del bebedero (Fig.1).

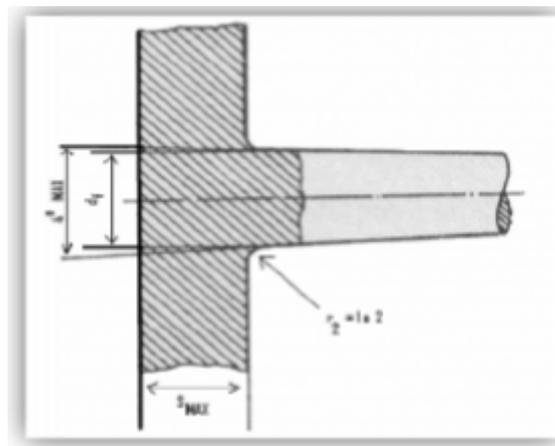


Figura 1.

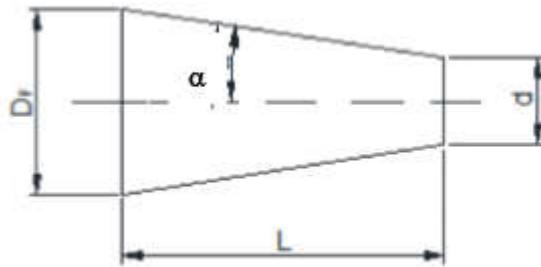
$$D_f = S_{max} + 1.5mm \quad (2)$$

Como se ha mencionado $S_{max} = 5mm$

$$D_f = 5mm + 1.5 mm = 6.5mm$$

Una conicidad " α " apropiada para el interior del bebedero es de 2° . Esta conicidad es suficiente para extraer con facilidad la mazarota del bebedero en el momento de la apertura del molde. Por tanto $\alpha=2^\circ$.

Para calcular la longitud del bebedero se utiliza la siguiente fórmula:



$$L = \left(\frac{D_f + d}{2} \right) \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (3)$$

$$L = \left(\frac{6.5 + 5}{2} \right) \frac{1}{\operatorname{tg} 2} = 150 \text{ mm}$$

3.3.2 Cálculo de los canales de distribución

Los canales de distribución constituyen la parte del sistema llenado que, en los moldes múltiples o en los simples con desvío de flujo une las cavidades del molde con el cono de entrada. Tienen la misión de conseguir que el material penetre en todas las cavidades simultáneamente y a igual presión y temperatura.

La masa plastificada penetra a gran velocidad en el molde refrigerado. Este fenómeno causa que el plástico que está en contacto con el molde solidifica rápidamente originando un centro plástico, por el que puede fluir la masa plástica para llenado el molde. El núcleo plástico debe conservarse hasta el llenado total del molde y para aprovechar la presión residual con el fin de compensar la contracción de su volumen durante el proceso de solidificación.

De la exigencia de la refrigeración se deriva la geometría de los canales de alimentación. Primero teniendo en cuenta que se deben evitar los desperdicios de material y la segunda por cuestiones de refrigeración. Por tanto la relación superficie/volumen debe ser lo menor posible.

Lógicamente las dimensiones del canal también dependen del tamaño de la pieza, el tipo de molde... lo más sencillo es hacer unos canales de distribución equilibrados. Por eso se tiene que tener en cuenta no sólo ahorro del material, sino que también debemos conseguir la máxima rentabilidad del molde y que la cantidad de material sobrante sea lo más pequeña posible.

Se ha hemos elegido el canal circular ya que es el más sencillo y económico. En la figura 2 y 3 se puede ver un canal equilibrado y su configuración básica:

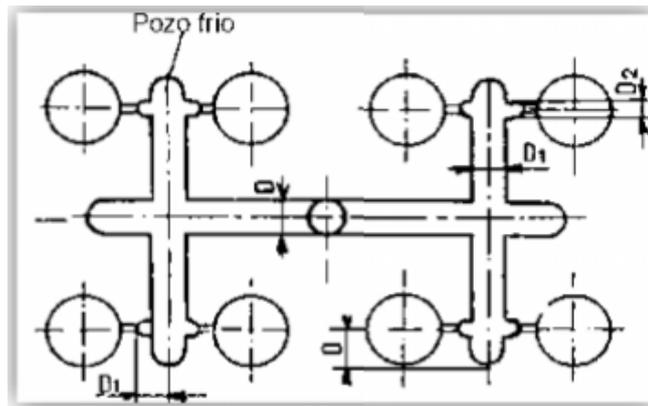


Figura 2.

Canal principal	
Longitud	Diámetro
Menos de 75	6
75-250	8
Más de 250	10
Canal secundario	
Menos de 75	6

Figura 3.

Se ha seleccionado un canal de llenado de longitud 10 mm por lo que se elegirá el valor de diámetro del bebedero de 6 mm al ser la longitud del canal menos de 75mm.

3.3.3 Cálculo de entrada

El canal de estrangulamiento es la parte del sistema llenado que une la cavidad que se va a llenar con el canal distribuidor, (la parte más estrecha de todo el sistema llenado). Su tamaño y longitud viene determinado por diversas exigencias.

La disposición de las entradas debe estar bien determinada, ya que ésta depende del correcto llenado de la pieza a inyectar.

Para la realización del cálculo de las entradas de alimentación se debe considerar que éstas deben ser de un tamaño lo más pequeño posible, logrando con esto un fácil desmoldeo. No se deben dimensionar tampoco muy pequeñas porque representaría un cuello de botella en el sistema de distribución, ya que se opondrían a la resistencia del fluido, consumiendo gran parte de la presión de inyección. Esta resistencia es más alta cuanto más alta se la viscosidad de la masa inyección. También es posible que se produzca un

sobrecalentamiento por la acción de obstaculización produciéndose una degradación térmica.

Cuando el tamaño del canal es demasiado grande se produce un llenado rápido, que origina un llenado prematuro y una solidificación de plástico prematura. La temperatura de colada descende originando una rápida caída de la presión residual.

Si los diámetros de los canales de distribución son iguales, así como las longitudes de los canales de estrangulamiento, las secciones de éstos se calculan en moldes múltiples con caminos de flujo iguales por la siguiente relación:

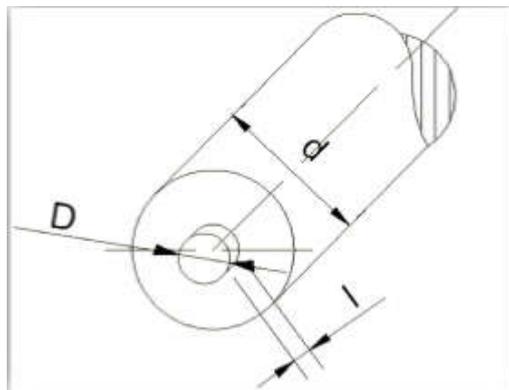
$$K = \frac{f}{1\sqrt{L}} \quad (4)$$

Entre los diferentes tipos de canales detallados anteriormente en la memoria hemos elegido un tipo de entrada circular:

F= sección del canal de distribución [mm²].

f= sección de canales de estrangulamiento [mm²].

d= diámetro del canal de distribución [mm].



$$F = \frac{\pi \phi^2}{4} = \frac{\pi 10^2}{4} = 78.54 \text{ mm}^2$$

$$f = 0.085 \cdot F = 6.68 \text{ mm}^2$$

$$\phi_{\text{entrada}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6.68}{\pi}} = 2.92 \text{ mm}$$

3.4 Enfriamiento

3.4.1 Cálculo del tiempo de enfriamiento

Al efectuar el llenado se inyecta la masa fundida a elevada presión y a gran velocidad en el molde debiendo entonces disiparse su calor hasta que se solidifique. La pieza sólo puede ser desmoldada en el momento que quede solidificada, es decir, cuando adquiera suficiente rigidez.

El enfriamiento es de gran importancia para la calidad y rentabilidad, que muchas veces se exige que se tenga ya en cuenta al iniciar la construcción del molde.

Las ventajas económicas obtenidas con tiempos de enfriamiento cortos aportan abundantes desventajas en lo referente a la calidad. Además hay que tener en cuenta que los costes de enfriamiento con temperaturas inferiores a la temperatura ambiente aumentan progresivamente a medida que baja la temperatura de las paredes del molde. La formación de agua de condensación en las paredes del molde puede influir también negativamente la calidad de la pieza. Así pues será preciso establecer un compromiso razonable en cada caso.

El tiempo de enfriamiento depende de la temperatura de elaboración (σ_M), de la temperatura de moldeo (σ_W), de la temperatura del desmoldeo (σ_E), de la conductividad térmica (α) del material inyectado y del espesor de la pared de la pieza (s).

En general, para el cálculo del tiempo de enfriamiento tenemos la siguiente ecuación diferencial de Fourier, que se obtiene por un balance de energía en una capa plana infinitamente pequeña (Fig. 4)

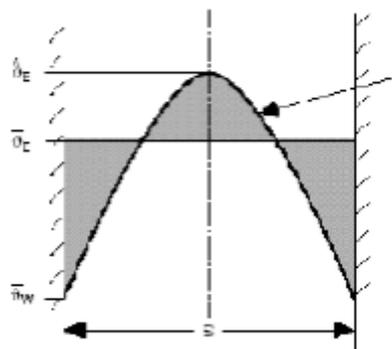


Figura 4.

$$t_k = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a} \ln\left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{\sigma_M - \sigma_W}{\sigma_E - \sigma_W}\right) \quad (5)$$

$$a = \frac{\text{conductividad térmica}}{\text{densidad} \cdot \text{capacidad calorífica específica}} = 9,4 \cdot 10^{-4} \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$$

s= espesor de la pieza = 5mm

σ_M = temperatura de elaboración = 280°C

σ_W = temperatura de la pared del molde = 60°C

σ_E = temperatura media de desmoldeo = 140°C

Con estos datos se obtiene el siguiente valor $t_k = 21,60\text{s}$

3.4.2 Determinación del calor disipado

El calor que debe desprenderse la pieza depende de la masa de moldeo, de la temperatura de elaboración y de la temperatura media de desmoldeo.

En la figura 5 se representa la entalpía de algunas masas termoplásticas en relación con la temperatura. En esta figura se muestra la cantidad específica de calor a disipar en la pieza inyectada. En nuestro caso, como podemos observar en la siguiente tabla, la temperatura de moldeo es $\sigma_M = 280^\circ$ y la temperatura de desmoldeo es $\sigma_E = 140^\circ$

Termoplástico	Temperatura Molde °C	Temperatura Masa °C	Temperatura de desmoldeo °C
Apec HT (PC-HT)	100-150	310-340	150
Bayblend (PC+ABS)	155-170-100	240-280	110
Desmopan (TPE)	20-30	190-240	50-70
Durethan A (PA 3K)	(60)-110-100	270-295	110
Durethan AKV (PA 66, GF)	(60)-110-120	280-300	140
Durethan B (PA 5)	(60)-110-100	260-280	100
Durethan BKV (PA 6, GF)	(60)-110-120	270-290	130
Mexolon (PC)	(>65)-100-100	280-320	<140
Mexolon (PC, GF)	(>65)-100-130	310-330	<150
Novocur ABS	(>45)-100-80	220-250	50-100
Luxon ABS	(>45)-100-80	220-250	50-100
Luxon SAR	50-80	230-250	80-95
Pocan (PBT)	(>60)-100-100	250-270	<140
Pocan (PBT, GF)	(>60)-100-100	250-270	<150
Tisk (ABS - PA)	10-150	250-270	50-100

La formula correspondiente al calor disipado es la siguiente:

$$Q = \frac{m \cdot \Delta h}{t_k} \quad (6)$$

m = masa a inyectar.

Δh = Incremento de la entalpia.

t_k = tiempo del ciclo

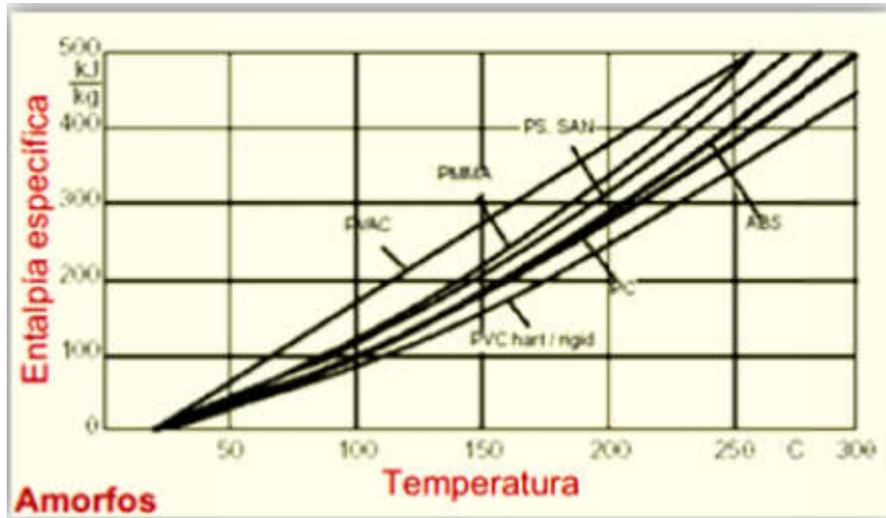


Figura 5.

$$Q = \frac{m \cdot \Delta h}{t_k} = \frac{m \cdot (480 - 170)}{t_k} = 4,893 \text{ kcal/s} = 19,57 \text{ kJ/s}$$

3.4.3 Disposición del sistema de enfriamiento del molde

El agente refrigerante que fluye por los canales de enfriamiento del molde tiene la misión de aportar o disipar calor hasta que se obtenga la temperatura adecuada en la pared para el desmoldeo. También tiene que disipar el calor en la superficie exterior del molde y el ambiente.

La temperatura del agente refrigerante es muchas veces distinta a la de la pared del molde (hasta 30 °C de diferencia). El gradiente temperatura desprende las resistencias a la transmisión y la conducción térmica del molde y el calor a disipar.

Medios de acondicionamiento.	Temperatura.	Condiciones.
Agua	5 a 90 °C	Bajo presión, hasta 120 °C.
Mezcla agua/alcohol	< 5 °C	
Salmuera	< 5 °C	
Aceite	> 90 a 300 °C	

Para conseguir un gran rendimiento del acondicionamiento de la temperatura, la distancia entre canales y la pared de la cavidad ha de ser pequeña. Aunque no se puede atribuir un espesor exacto en una geometría no lineal, con huecos... y dado el diámetro de los canales que se recomiendan en base al

espesor de la pieza, se podría hacer una aproximación estimando un espesor a la pieza (S) de unos 5 mm. El diámetro de los canales por los que fluiría el líquido refrigerante es $\varnothing = 10\text{mm}$.

La distancia entre canales no debe exceder $6 \cdot D = 120\text{mm}$. Sin embargo, puede ocurrir que en algún instante se supere esta distancia, ya que, los canales de refrigeración dependen de la geometría de la pieza y de los elementos que componen el molde.

3.5 Cálculo de los expulsores

Para la selección de las dimensiones de los expulsores se deben de usar siempre medida estándar y evitar tamaños de diámetros menores de 3 mm, sobre todo si la longitud del perno es mayor de 50 veces el diámetro.

Se debe prestar atención en el diámetro de perno expulsor, ya que si es demasiado delgado pueden existir problemas de inestabilidad. El diámetro del expulsor se puede determinar mediante la siguiente fórmula

$$d \geq 0,000836 \cdot L \cdot \sqrt{P} \quad (7)$$

L= longitud no guiada del perno= 7,6 cm

P= presión de inyección (kg/cm^2)= $1326 \text{ kg}/\text{cm}^2$

$$d \geq 0,000836 \cdot 7,6 \cdot \sqrt{1326} = 0,21 \text{ cm} \approx 2 \text{ mm}$$

3.5.1 Resistencia de los expulsores a pandeo

Mediante la fórmula de Euler se sabe que:

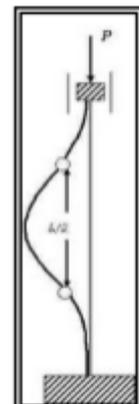
$$N_{\text{crit}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\text{min}}}{L_p^2} \quad (8) \quad I = \frac{\pi \cdot d^4}{32} \quad (9)$$

Para calcular la carga crítica de los expulsores a pandeo, y según la disposición de los expulsores se tomará el siguiente caso:

$$L_p = \frac{L}{2} \quad (10)$$

El material de los expulsores es un acero 1.2344:

DIN – MATERIAL –No. 1.2344	
Código	X40CrMoV5-1
Estándare	AISI H13, NF:Z40CDV5, EU: X40CrMoV5 1 1



Módulo Elástico [GPa]	20 °C	400 °C	600 °C	
	210	180	140	
Densidad [$\frac{g}{cm^3}$]	20 °C	400 °C	600 °C	
	7.8	7.7	7.6	
Conductividad térmica [$\frac{W}{mK}$]	20 °C	500°C	600°C	
	7.78	7.64	7.60	
Coeficiente de expansión térmico [mm/mm/°C]	20-95°C	20-205°C	20-425°C	20-650°C
	11.10 ⁻⁶	11,5.10 ⁻⁶	12,2.10 ⁻⁶	13,1.10 ⁻⁶

Dureza	52 HRC
Límite Elástico Rm [N/mm ²]	1820
Límite de fluencia Rp0.2 [N/mm ²]	1520

Los expulsores son de d = 2 mm y la longitud más desfavorable es de L = 163 mm.

$$I = \frac{\pi \cdot (0,002)^4}{32} = 1,571 \cdot 10^{-12} \text{ m}^4$$

$$L_p = \frac{0,163}{2} = 0,0543 \text{ m}$$

$$N_{crit} = \frac{\pi^2 \cdot 180 \cdot 10^9 \cdot 1,271 \cdot 10^{-10}}{0,0543^2} = 17432,1 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{crit}}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot 1^2 \cdot 1820}{7 \cdot 65805}} = 0,573 \quad (11)$$

Siendo f_y la tensión del límite elástico.

Con el valor de la esbeltez obtenemos en la tabla siguiente el valor de χ de la columna "c" debido a que tenemos un redondo macizo, y obtenemos un valor de $\chi = 0,80$

Esbeltez reducida	Curva de pandeo				
	a_0	a	b	c	d
Coefficiente (α) de imperfección	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76
$\leq 0,20$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,30	0,99	0,98	0,96	0,95	0,92
0,40	0,97	0,95	0,93	0,90	0,85
0,50	0,95	0,92	0,88	0,84	0,78
0,60	0,93	0,89	0,84	0,79	0,71
0,70	0,90	0,85	0,78	0,72	0,64
0,80	0,85	0,80	0,72	0,66	0,58
0,90	0,80	0,73	0,66	0,60	0,52
1,00	0,73	0,67	0,60	0,54	0,47
1,10	0,65	0,60	0,54	0,48	0,42
1,20	0,57	0,53	0,48	0,43	0,38
1,30	0,51	0,47	0,43	0,39	0,34
1,40	0,45	0,42	0,38	0,35	0,31
1,50	0,40	0,37	0,34	0,31	0,28
1,60	0,35	0,32	0,31	0,28	0,25
1,80	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21
2,00 ⁽¹⁾	0,23	0,22	0,21	0,20	0,18
2,20 ⁽¹⁾	0,19	0,19	0,18	0,17	0,15
2,40 ⁽¹⁾	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13
2,70 ⁽²⁾	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11
3,00 ⁽²⁾	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09

⁽¹⁾ esbeltez intolerable en los elementos principales
⁽²⁾ esbeltez intolerable incluso en elementos de amostramiento

Por lo tanto, la resistencia última de la barra a pandeo es:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y \quad (12)$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y = 0,80 \cdot \pi \cdot 1^2 \cdot 1820 = 4574,16 \text{ N}$$

Ahora se calcula el esfuerzo máximo de compresión al que está sometido el expulsor, teniendo en cuenta que la presión de inyección es de 130 MPa.

$$F = P \cdot A = 408,4 \text{ N}$$

Por lo que los expulsores no tienen riesgo de romper a pandeo.

También se ha de tener en cuenta que las longitudes de los expulsores no son exactamente las longitudes de pandeo, ya que durante su recorrido, éstos van guiados por los orificios de las placas. Este hecho favorece que las cargas críticas sean ligeramente superiores a las obtenidas anteriormente, por lo que el resultado está del lado de la seguridad.

3.6 Interpretación de datos del Moldflow

Moldflow es un software que utiliza los elementos finitos para la obtención de resultados, ya que sería prácticamente imposible la realización de dichos cálculos a mano.

Antes de realizar cualquier simulación se han dimensionado todos los elementos del sistema de alimentación como el bebedero, los canales de alimentación,... puesto que dichas dimensiones están directamente

relacionadas con la fuerza de cierre del molde. En algunos casos ha sido necesario repetir algún estudio varias veces hasta lograr el resultado deseado

3.6.1 Regiones de entrada

El estudio de las regiones de entrada es una estimación de las zonas óptimas donde colocar las entradas (Fig. 6). Puesto que la pieza no es bastante grande, hemos colocado una entrada para que se llene antes la cavidad. También se ha barajado introducir 2 entradas pero esto conllevaría tener demasiadas líneas de soldadura. Este estudio se basa en la resistencia de flujo en el frente del mismo. El resultado se obtiene de un análisis de la posición de entrada mediante el algoritmo localizador de entradas avanzado y representa la resistencia al flujo en el frente de flujo desde las posiciones de entrada normalizada, para mostrar desde la resistencia al flujo más alta, hasta la resistencia al flujo más baja.

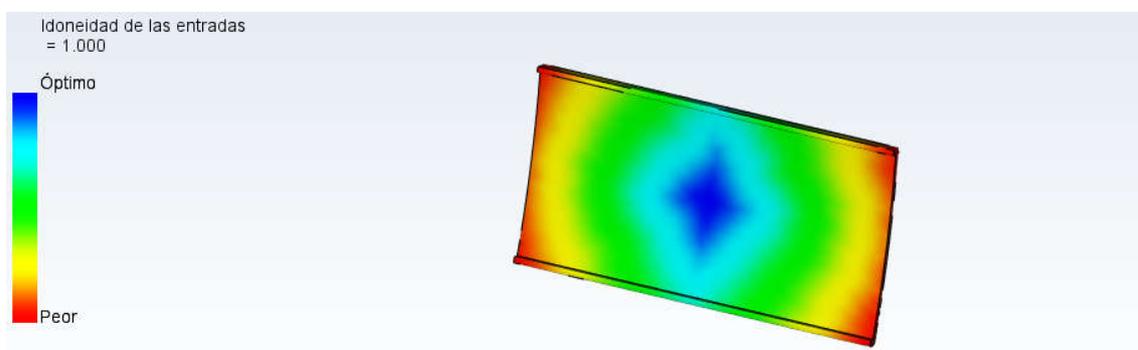


Figura 6.

3.6.2 Asistente de canales

El asistente de canales es un estudio que realiza el programa para dimensionar los canales de inyección, el bebedero, y las entradas en función de la geometría y el volumen de la pieza..

Como hemos explicado anteriormente, se han dimensionado el sistema de distribución en función de la fuerza de cierre del molde. Se puede observar la diferencia entre las dimensiones que se han calculado analíticamente (Fig.7).y las que el software Moldflow considera más oportunas (Fig. 8).

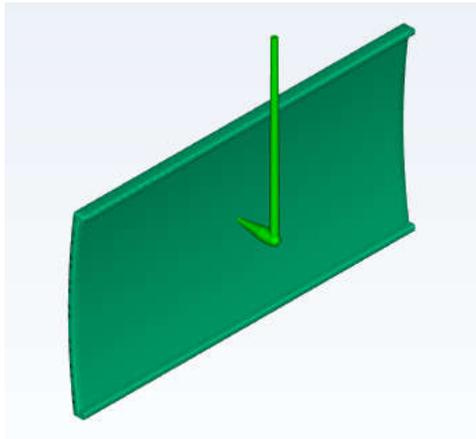


Figura 7.

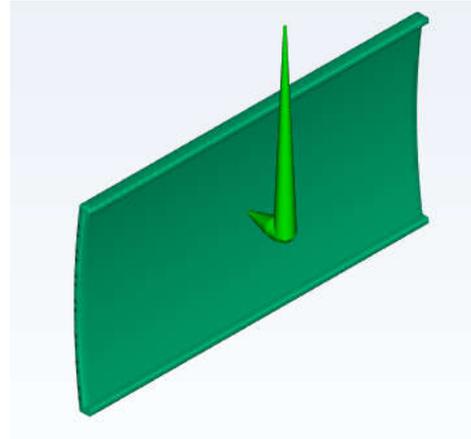


Figura 8.

A continuación se puede ver la variación de dichas dimensiones:

Bebedero

- Pre-calculado: $\text{Ø}_i = 5 \text{ mm}$. $\text{Ø}_f = 6,5 \text{ mm}$.
- Óptimos Moldflow: $\text{Ø}_i = 2 \text{ mm}$. $\text{Ø}_f = 14,96 \text{ mm}$.

Canales

- Pre-calculado: $\text{Ø} = 10 \text{ mm}$.
- Óptimos Moldflow: $\text{Ø} = 14,95 \text{ mm}$.

Entrada

- Pre-calculado: $\text{Ø}_i = 10 \text{ mm}$. $\text{Ø}_f = 2,92 \text{ mm}$.
- Óptimos Moldflow: $\text{Ø}_i = 14,95 \text{ mm}$. $\text{Ø}_f = 2,24 \text{ mm}$

Para saber que dimensiones son las más adecuadas tenemos que hacer un prellenado con los dos sistemas de alimentación y se elegirá el que mejores resultados en el parámetro de predicción de la calidad tenga.

3.6.3 Predicción de la calidad en el prellenado.

A continuación se puede ver que sistema de distribución da un mejor porcentaje en la predicción de la calidad. Las zonas de color verde indican una buena predicción de la calidad, las amarillas una predicción regular de la calidad y las zonas de color rojo pueden ser problemáticas. Cabe destacar que esto es un pre-llenado y que una vez de escogido el mejor sistema de alimentación, aun será necesario ajustar los parámetros de inyección para optimizar todo el proceso.

En la figura 9 está representada la predicción de la calidad del resultado obtenido del Moldflow.

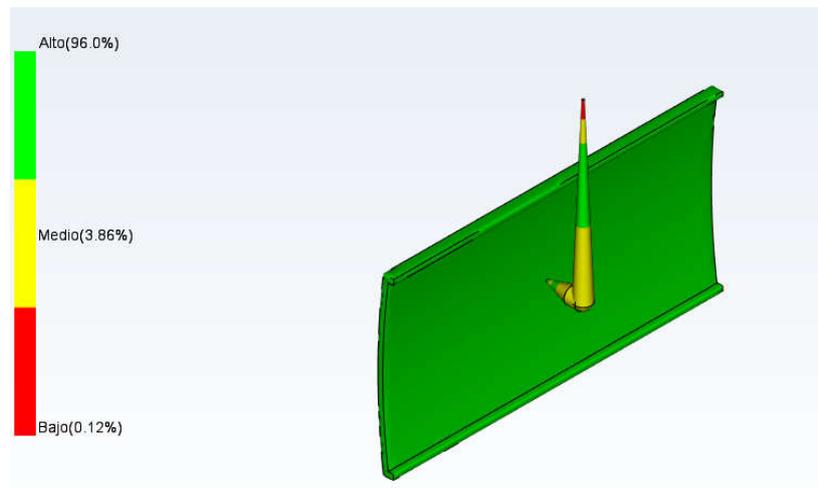


Figura 9.

Ahora se va a obtener el resultado de predicción de la calidad con el sistema de alimentación que se ha calculado previamente (Fig.10).

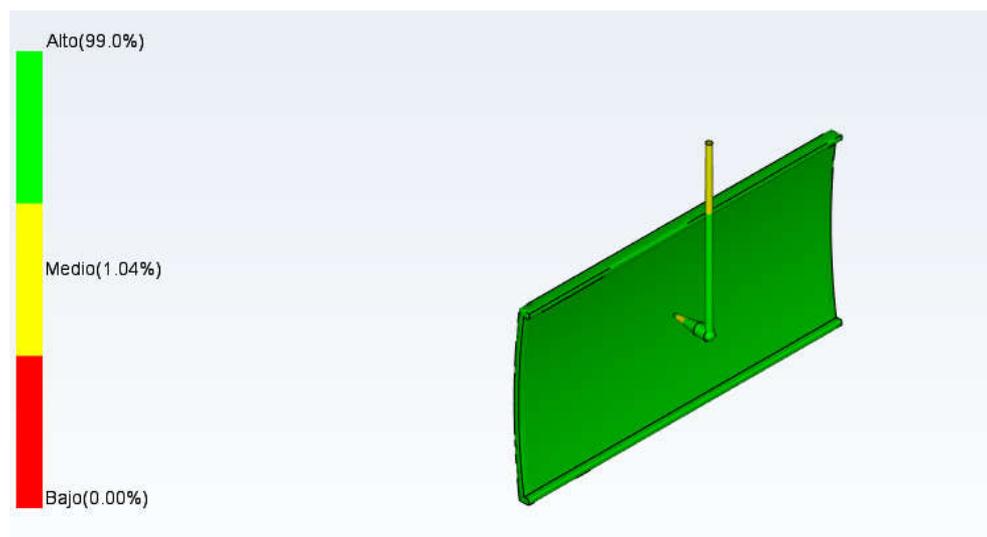


Figura 10.

Como se puede ver, no existe ninguna duda a la hora de escoger el sistema de alimentación más adecuado. Con el sistema que se ha anteriormente se obtiene un 99% de predicción de calidad alta. No obstante, se modificaran los distintos parámetros de llenado para mejorar más aun este resultado.

● Presión de llenado 300 MPa

La comparación para dilucidar el mejor sistema de alimentación se ha llevado a cabo con un valor de presión de inyección de 180 MPa en ambos casos. Este valor viene marcado por defecto en el programa. Para intentar conseguir una

calidad superior al 99%, se ha decidido elevar la presión de inyección a 300 MPa, ya que es una de las opciones que propone el propio programa para mejorar el resultado.

En la figura 11 se puede ver el resultado que se obtiene si aumentamos la presión de inyección en 120 MP

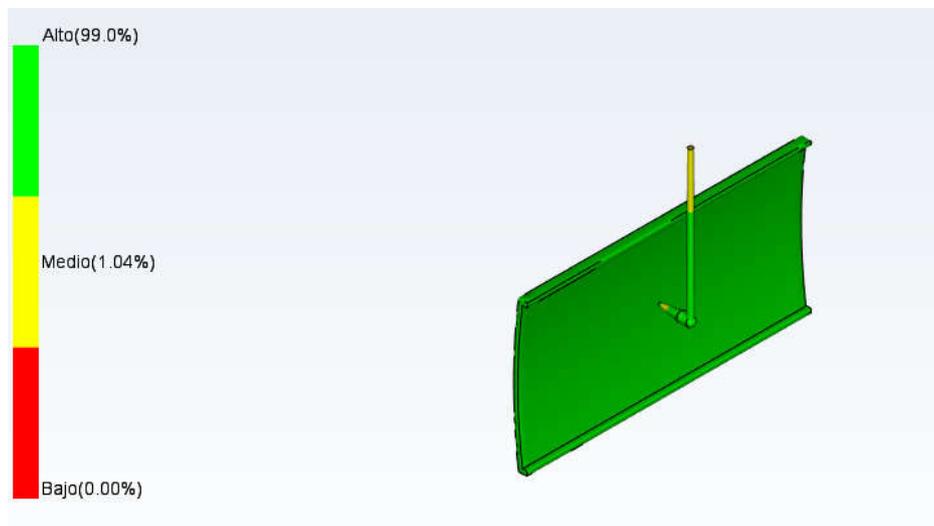


Figura 11.

Después de aumentar la presión en 120 MPa el resultado de predicción de calidad no varía por lo que se desecha este cambio.

● Presión de llenado 500 MPa

Se decide aumentar en 200 MPa la presión de inyección ya que el aumento anterior podría no ser lo suficientemente elevado. Entonces la nueva presión de llenado es 500 MPa y en la figura 12 se puede ver si realmente se ha conseguido el objetivo de aumentar la calidad del llenado.

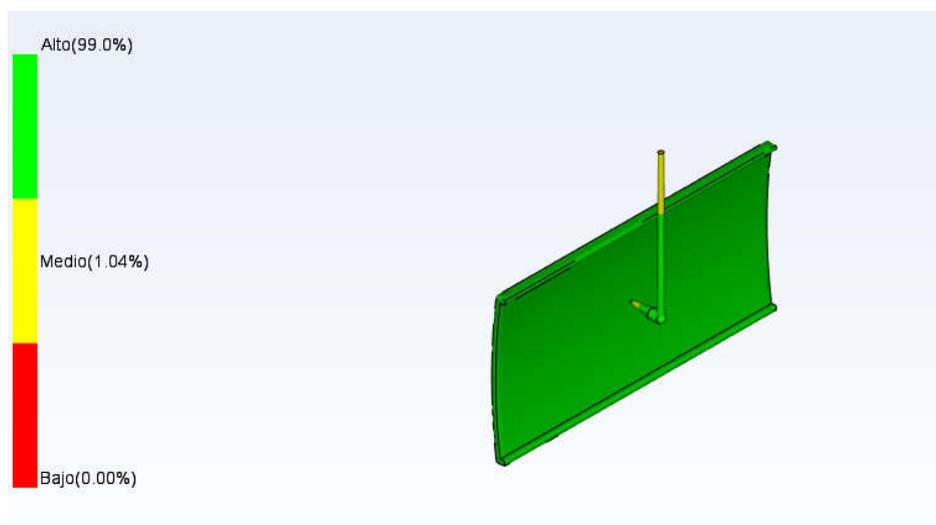


Figura 12

El resultado de la predicción de la calidad sigue siendo el mismo por lo que se decide desechar esta opción y variar otros parámetros de inyección sugeridos por el programa.

• Tiempo de inyección 2,5 segundos

El tiempo de llenado lo hemos comentado con anterioridad así que solamente se indica en este apartado que se ha rebajado el tiempo de inyección a 2,5 segundos en un intento de mejorar la predicción de la calidad (Fig. 13).

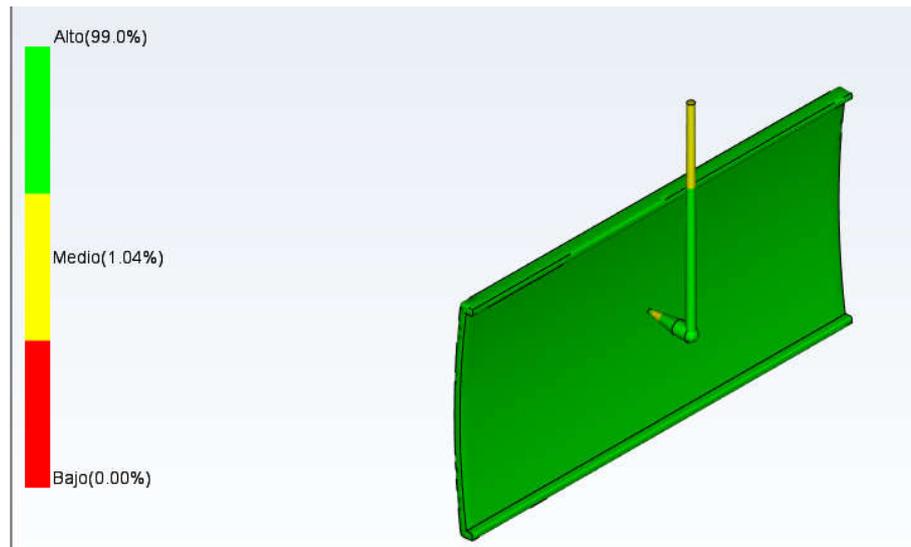


Figura 13.

La modificación del tiempo de llenado no produce alteraciones en la predicción de la calidad, así que de nuevo se desecha seguir haciendo modificaciones en este parámetro.

• Temperatura de inyección 260°C

La temperatura del frente del flujo es de vital importancia en el resultado de la calidad de la pieza. Las zonas calientes suelen encontrarse alrededor de la entrada y en áreas en las que se produce un calentamiento excesivo por efecto de la cizalla. Si la temperatura es demasiado elevada puede provocar defectos en la pieza. Actualmente se inyecta a una temperatura de 300°C, por lo que se decide disminuir la temperatura hasta 260°C para a ver si mejora la predicción de la calidad (Figura 14).

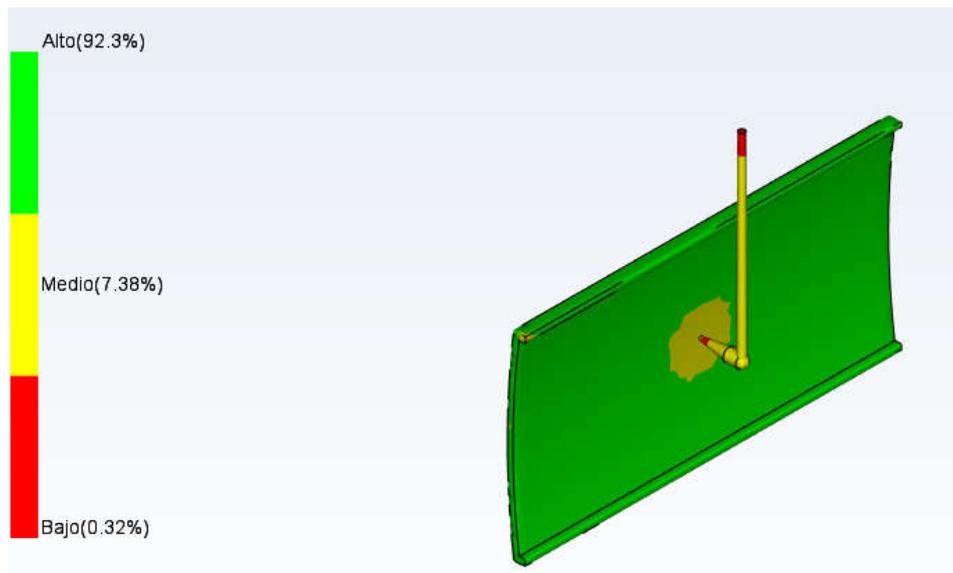


Figura 14.

La predicción de la calidad ha disminuido por lo que se desecha esta opción y se opta por aumentar la temperatura.

● **Temperatura de inyección 340°C**

Aumentando la temperatura hasta los 340°C, es decir, 80°C más que en el estudio anterior, para a ver si consigue el resultado deseado.

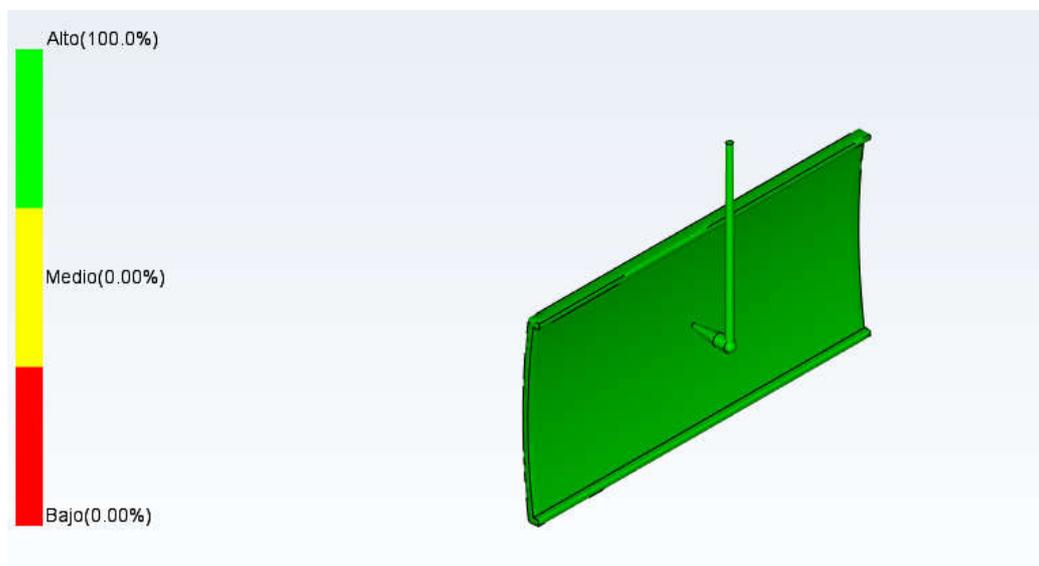


Figura 15.

Como se puede observar, se ha conseguido una predicción de la calidad del 100% con lo que se puede dar por buenos los parámetros de llenado que tenemos. Posteriormente se realizará un análisis final que dará unos resultados más fiables ya que se tiene en cuenta la refrigeración.

3.6.4 Refrigeración.

El sistema de refrigeración de un molde es muy importante ya que depende el tiempo de expulsión de dicho sistema. En una sola pieza puede tener poca transcendencia pero a lo largo de un tiempo prolongado puede suponer mucha pérdida de tiempo y por consiguiente, de beneficios. Para optimizar el sistema de refrigeración se dispone de una serie de estudios que se enuncian a continuación.

- Presión del circuito
- Temperatura del refrigerante del circuito
- Caudal del circuito
- Número de Reynolds del circuito.
- Calidad de la refrigeración.
- Varianza del tiempo de refrigeración.
- Temperatura de la pieza.
- Tiempo para alcanzar la temperatura de expulsión

● **Calidad de refrigeración**

Primeramente se realiza un estudio básico con un caudal de refrigerante de 80l/s y una temperatura de 20°C (Fig. 16) y se mira que resultados se obtienen. En función de dichos resultados se harán las modificaciones pertinentes hasta conseguir un valor aceptable en la calidad de la refrigeración

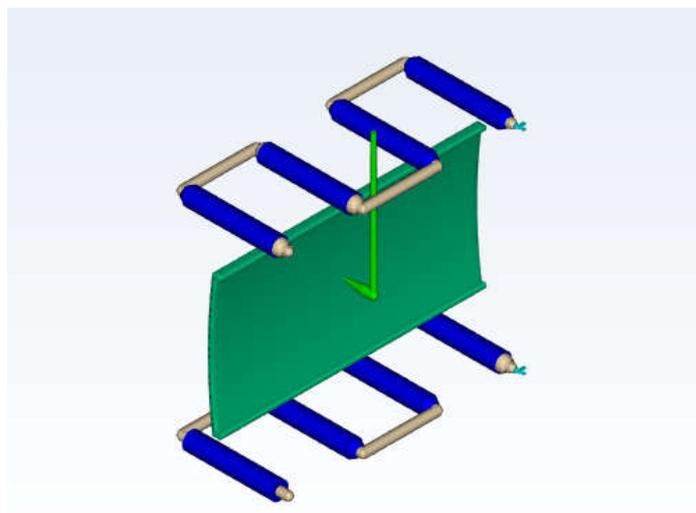


Figura 16.

A continuación sólo se van a exponer las modificaciones que se han realizado y el resultado que se ha obtenido con dichos cambios. El procedimiento es exactamente igual que el que se ha llevado a cabo en el pre-llenado.

-DISPOSICIÓN EN 'X' DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

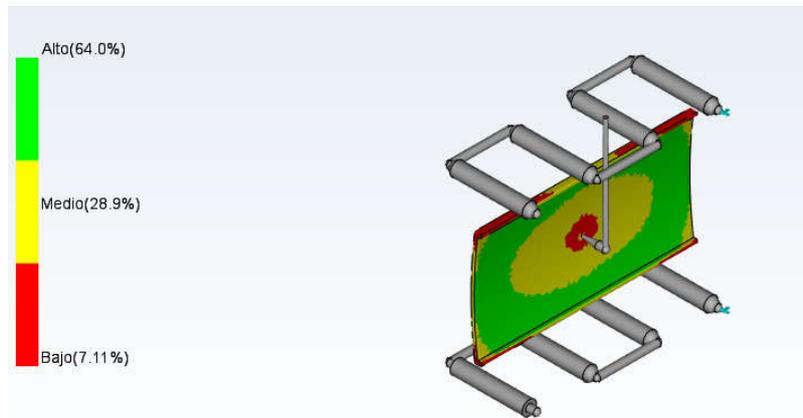


Figura 17.

-ADICIÓN DE NUEVOS PLANOS DE REFRIGERACIÓN

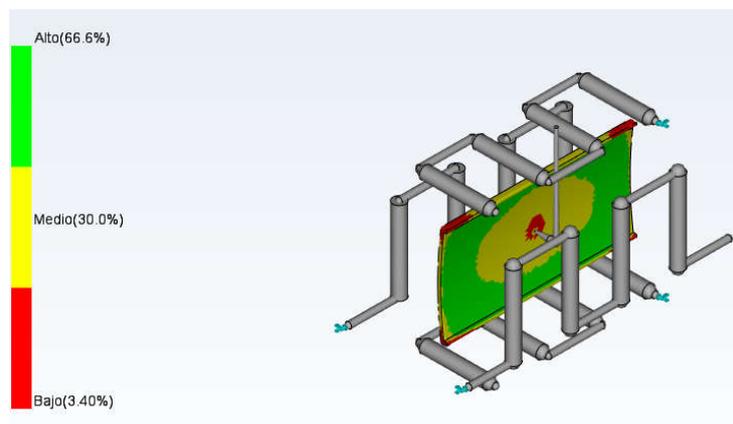


Figura 18.

-AUMENTO DE LA TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE A 100°C

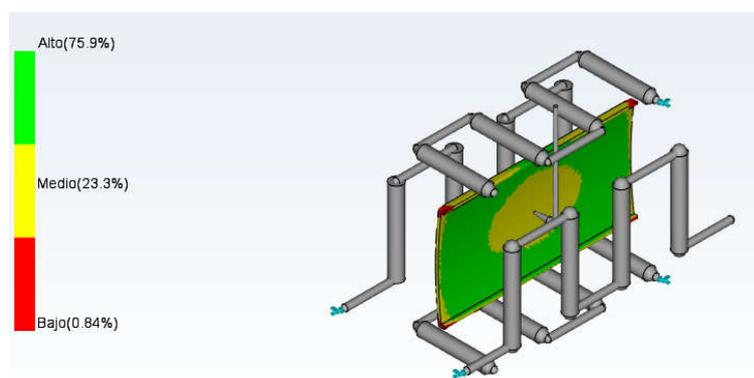


Figura 19.

-REDUCCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE A -60°C

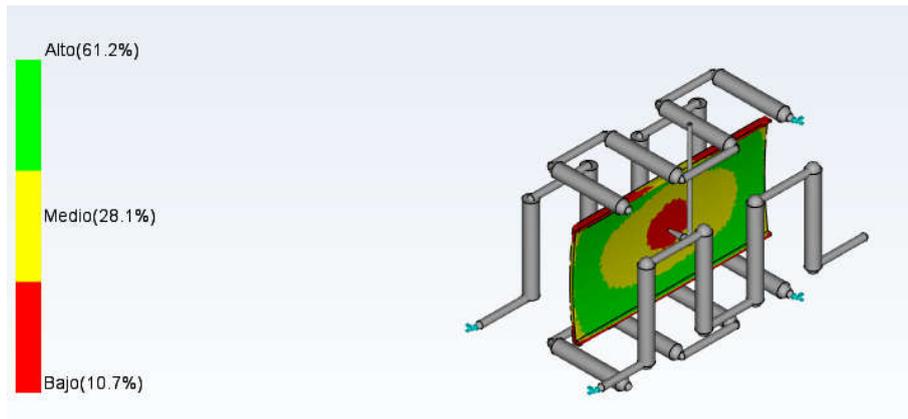


Figura 20.

-ELIMINACIÓN DE PLANOS DE REFRIGERACIÓN

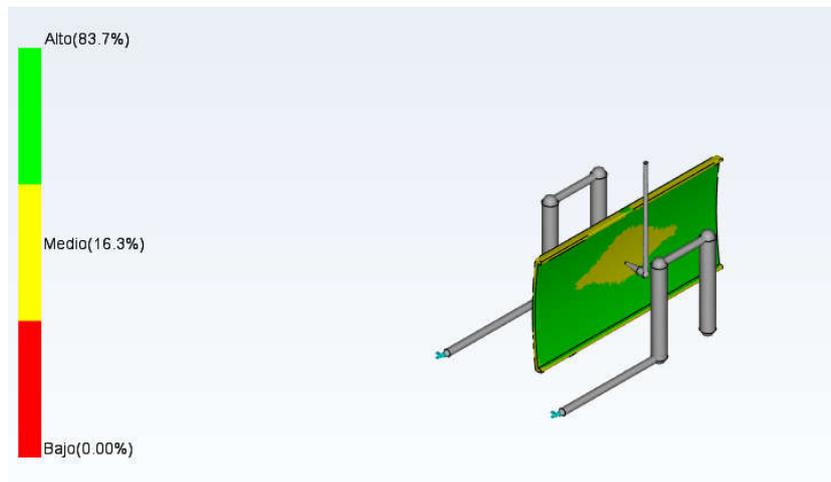


Figura 21.

-MODIFICACIÓN DE LOS PLANOS DE REFRIGERACIÓN

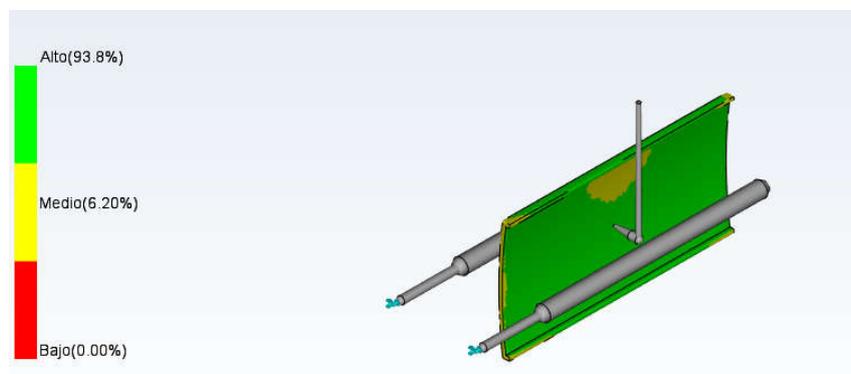


Figura 22.

-INSTALACIÓN DE DEFLECTOR DE REFRIGERACIÓN

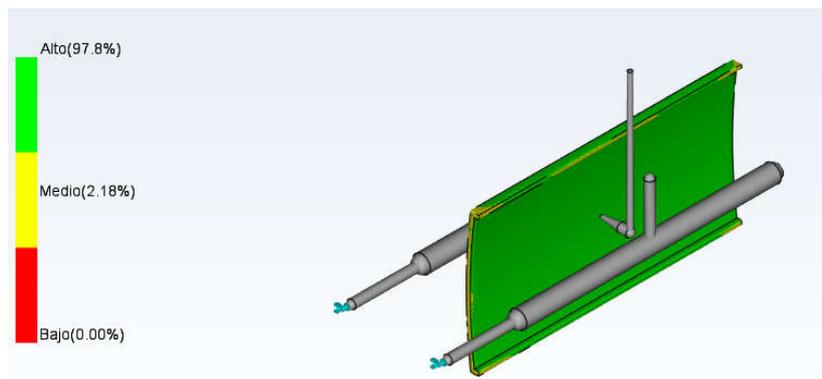


Figura 23.

Con este último diseño del sistema de refrigeración se consigue una calidad alta del 97,8%, por lo que se decide coger estos parámetros para definir el sistema de refrigeración.

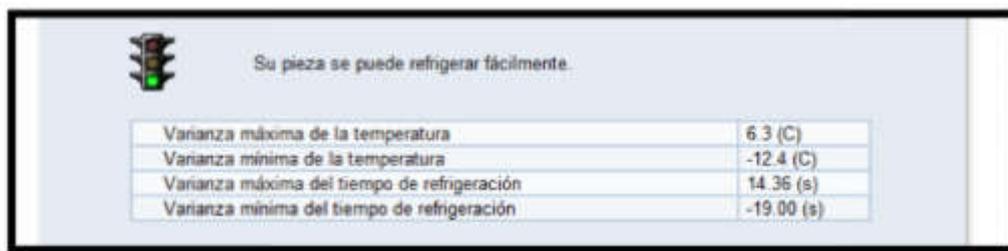


Figura 24.

● Tiempo para alcanzar la temperatura de expulsión

El resultado tiempo para alcanzar la temperatura de expulsión de la pieza se obtiene mediante un análisis de refrigeración y el tiempo requerido para alcanzar la temperatura de expulsión, que se mide desde el inicio del ciclo. La pieza tarda unos 40 segundos en alcanzar la temperatura de expulsión (Fig. 25).

Al inicio de la medición, se presupone que la pieza está llena de material y a su temperatura de masa fundida (T_{melt}). El tiempo para alcanzar la temperatura de expulsión se calcula en función de la temperatura de la pared del molde. Si una pieza de la pared del molde es superior a la temperatura de expulsión (T_{eject}) puede provocar problemas.

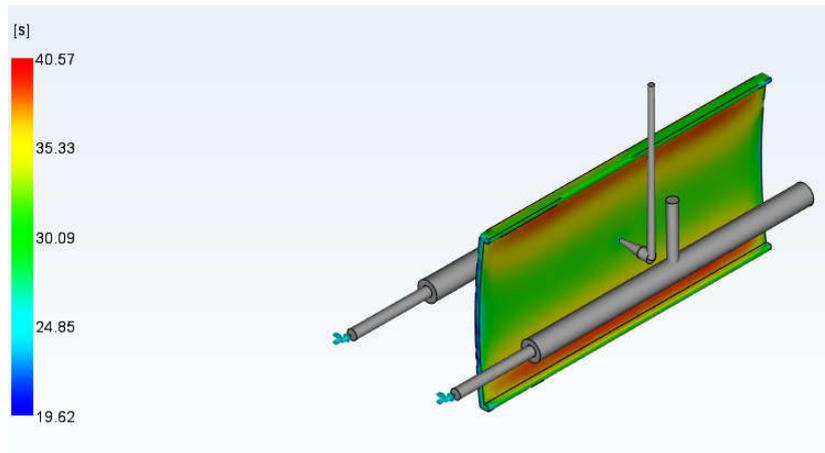


Figura 25.

3.6.5 Llenado final.

En este estudio se van a tener en cuenta todos los parámetros que intervienen en el proceso de inyección. Este estudio es el que más se asemeja al proceso real de llenado, por lo tanto será el más representativo.

● Tiempo de llenado

El resultado del tiempo de llenado muestra la posición del frente de flujo a intervalos regulares mientras la cavidad se llena. La pieza ahora solo tarda 3.536 segundos, y teniendo en cuenta el gran tamaño de la misma, se puede considerar que es un muy buen tiempo. También se puede observar que apenas ha variado el tiempo con respecto al pre-llenado.

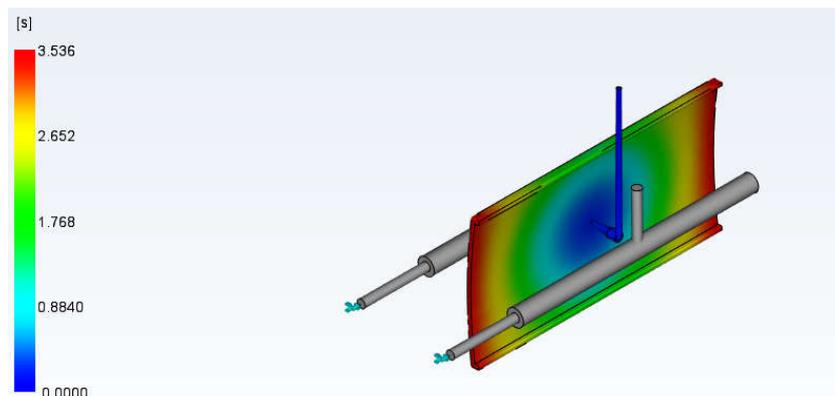


Figura 26.

● Confianza de llenado

Este resultado se deriva de los resultados de presión y temperatura. Este resultado muestra la probabilidad de llenado en buenas condiciones, regulares o deficientes de las cavidades en condiciones normales de inyección (Fig. 26).

En el estudio de la pieza a analizar la confianza de llenado es del 100% al igual que en el prellenado.

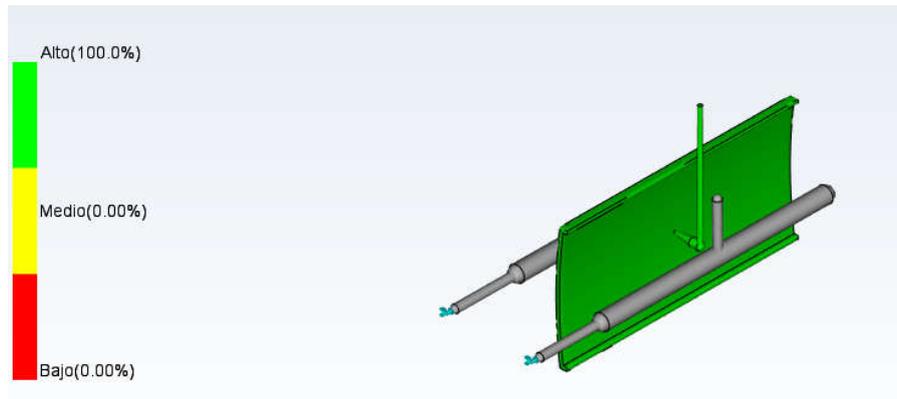


Figura 27.

●Predicción de calidad

Este resultado, como su propio nombre indica, es una predicción de la calidad de las propiedades mecánicas de la pieza (Fig. 27). Al igual que en el resultado anterior, se tiene un resultado bastante bueno pero no del 100%, concretamente del 99%. La zona que da una calidad inferior es la zona superior del agujero central, que es donde más tarda en llegar el material fundido. Este parámetro tampoco ha variado en relación al pre-llenado teniendo prácticamente el mismo resultado de alta calidad.

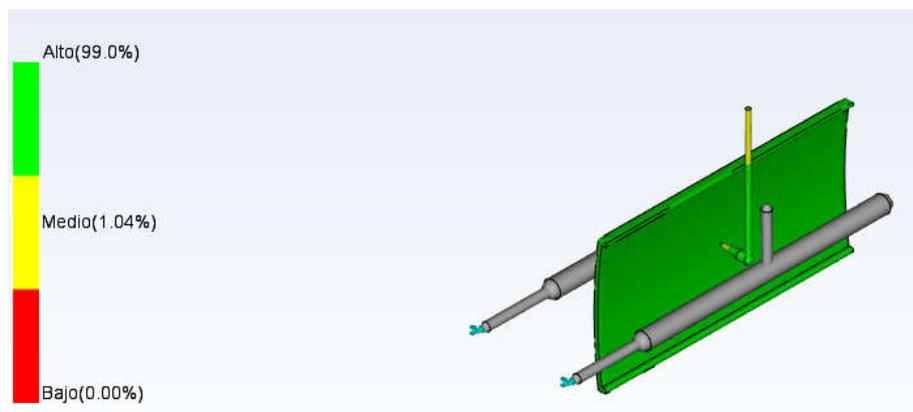


Figura 28.

●Presión de llenado

La presión de llenado muestra el valor de la máxima presión de inyección obtenida antes de que se produzca la conmutación de velocidad/presión durante la fase de llenado. Es de vital importancia que no se produzcan grandes variaciones de presión en la pieza durante el llenado. Como se puede ver en la figura 28, en la pieza no se tiene prácticamente variaciones de presión (Zonas de color azulado).

Un dato que cabe reseñar es que la máxima presión real difiere un poco de la que hemos calculado. En los cálculos se da un valor de presión de inyección de

120 MPa y el programa arroja un resultado de 63,27 MPa. Puesto que todo el sistema de alimentación se ha diseñado para una presión de inyección mayor que la real no es necesario cambiar las dimensiones del sistema.

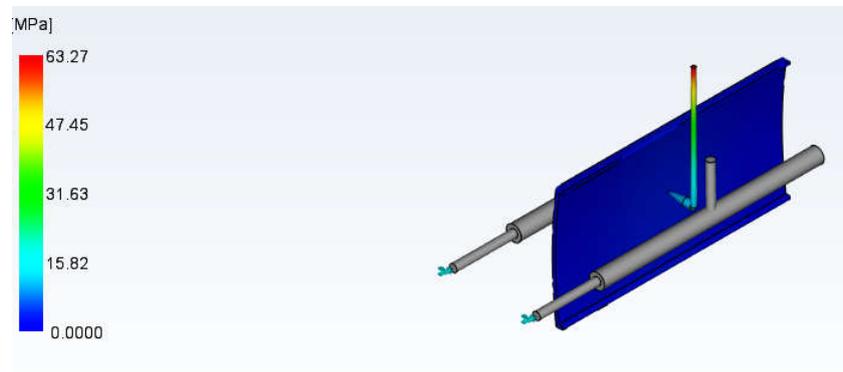


Figura 29.

● Fracción de la capa solidificada

El resultado de fracción de capa solidificada al final del llenado representa la fracción del espesor de la capa solidificada al final de llenado (Fig. 29). Se considera que un polímero está solidificado cuando la temperatura cae por debajo de la temperatura de transición. La fracción de capa solidificada tiene efectos muy significativos en la resistencia de flujo. La viscosidad aumenta exponencialmente con la disminución de la temperatura. La pieza tiene que mostrar la menor resistencia al flujo posible, de ello depende la geometría de la pieza.

Se considera que más de un 25% de fracción de capa solidificada puede provocar dichas resistencias de flujo. En la pieza el valor de la fracción de capa solidificada es de 8,735%, por lo que se puede considerar bueno el resultado.

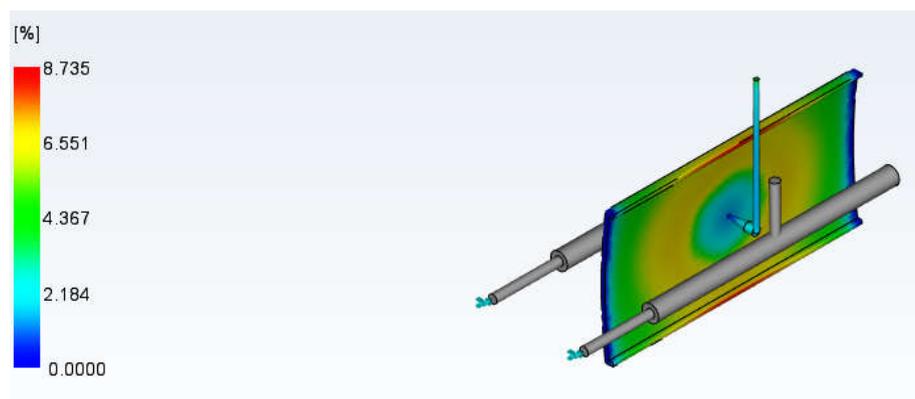


Figura 30.

● Atrapamientos de aire

Un atrapamiento de aire se produce cuando la masa fundida atrapa y comprime una burbuja de aire o gas entre dos o más frentes de flujo convergentes, o entre el frente de flujo y la pared de la cavidad. Normalmente, el resultado es un agujero pequeño o un defecto en la superficie de la pieza. En casos

extremos, la compresión aumenta la temperatura hasta un nivel que hace que el plástico se degrade o se queme. Una de las causas de los atrapamientos de aire es la geometría de la pieza, ya que ésta puede producir indecisiones del flujo o racetrack y atrapar aire entre la pared y la cavidad. Como se puede observar en la figura 30, no se observan prácticamente atrapamientos de aire en la pieza. Este resultado coincide al 100% con el resultado del pre-llenado.

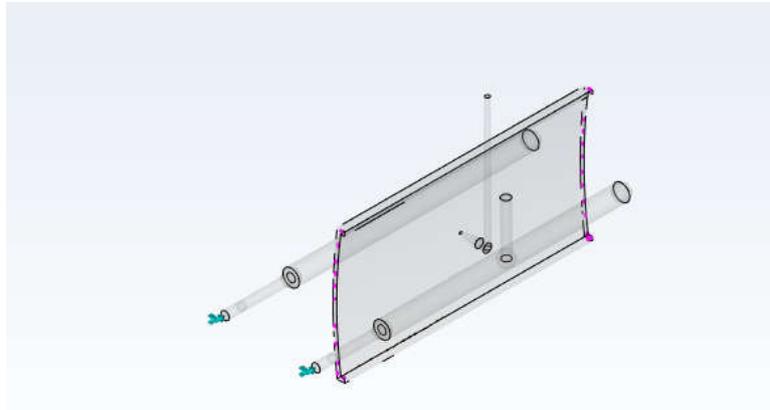


Figura 31.

● Líneas de soldadura

El resultado de las líneas de soldadura muestra el ángulo de convergencia cuando se encuentran dos frentes de flujo. La presencia de líneas de soldadura puede indicar fragilidad estructural o un defecto superficial. En la pieza sólo aparece una línea de soldadura. Cabe reseñar que es una zona muy pequeña donde sus valores quedan lejos de los 135°. (Fig. 32). Dichos colores fríos de la línea de soldadura indican que el valor de la línea o convergencia de flujos no es muy acentuado. Este resultado coincide al 100% con el resultado del pre-llenado.

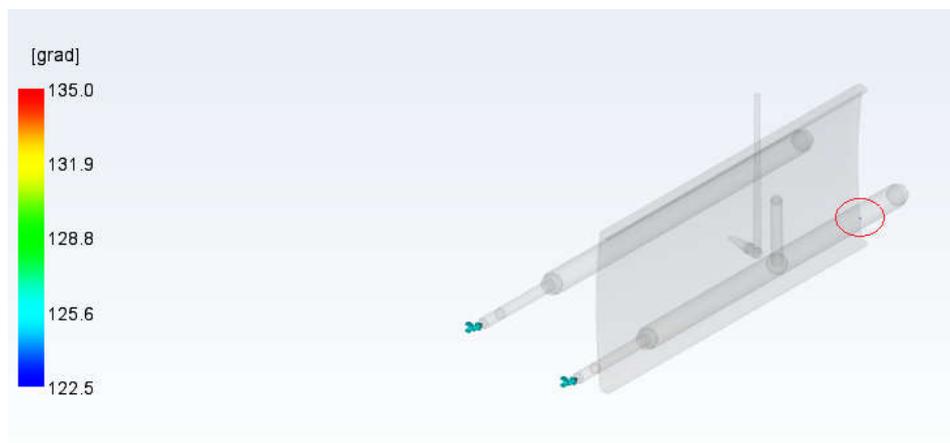


Figura 32.



Su pieza se puede llenar fácilmente con una calidad aceptable usando los puntos de inyección actuales.

3.6.6 Compactación.

El resultado de contracción volumétrica en la expulsión muestra la contracción volumétrica para cada área, expresada como un porcentaje del volumen moldeado original. La contracción volumétrica en la expulsión es la disminución de volumen local desde el final de la fase de refrigeración hasta el momento en que la pieza se ha enfriado a la temperatura ambiente de referencia (el valor predeterminado es 25 °C/77 °F). La fase de compactación incluye tanto el tiempo de compactación como el de refrigeración (mantenimiento). Este resultado se puede utilizar para detectar rechupes en el modelo. Unos valores de contracción elevados podrían indicar rechupes o vacíos dentro de la pieza. La contracción volumétrica debe ser uniforme a lo largo de toda la pieza para reducir la deformación. En el caso de la pieza en estudio se tiene un valor muy uniforme de compactación en toda la pieza entorno al 5% (Fig. 33). No obstante, más adelante se estudiará si se pueden producir rechupes de consideración o no.

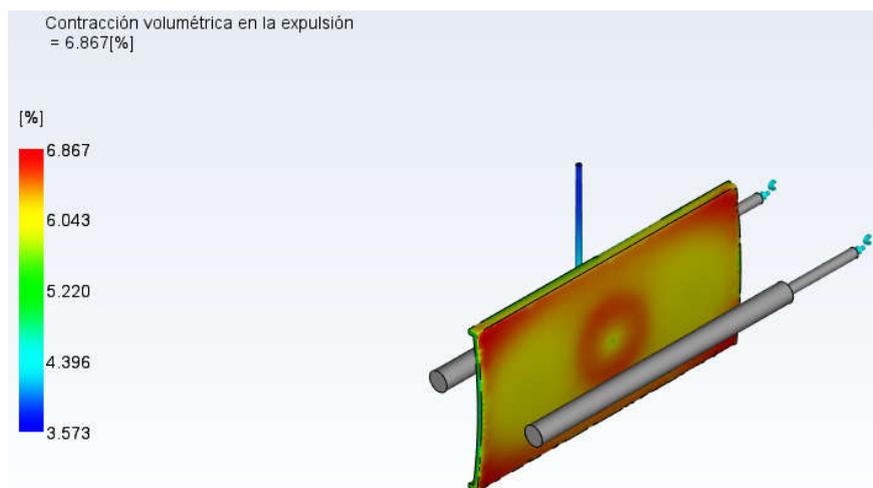


Figura 33.

3.6.7 Rechupes.

El resultado de estimación de rechupes muestra los rechupes simulados en la pieza. El resultado estimación de rechupes muestra las profundidades calculadas de rechupes en la pieza y proporciona una leyenda para interpretar las diferencias de profundidad.

Dado que los rechupes son un defecto visual, no estructural, el resultado debe evaluarse teniendo en cuenta las especificaciones de diseño visual de la pieza. Los colores más claros y las superficies texturizadas hacen que los rechupes sean menos visibles.

En general, si el espesor del nervio es menor o igual al 60% de la sección de la pared principal, no es probable que se produzcan rechupes significativos.

Si no es posible quitar o reducir un rechupe, se puede disimular. Esto se puede hacer agregando una característica de diseño, como una serie de estrías en el área en que se produce. Por suerte en el caso de la pieza en estudio no existe ningún rechupe (Fig. 33), con lo que se puede considerar que es muy buen resultado en este apartado tan crítico.

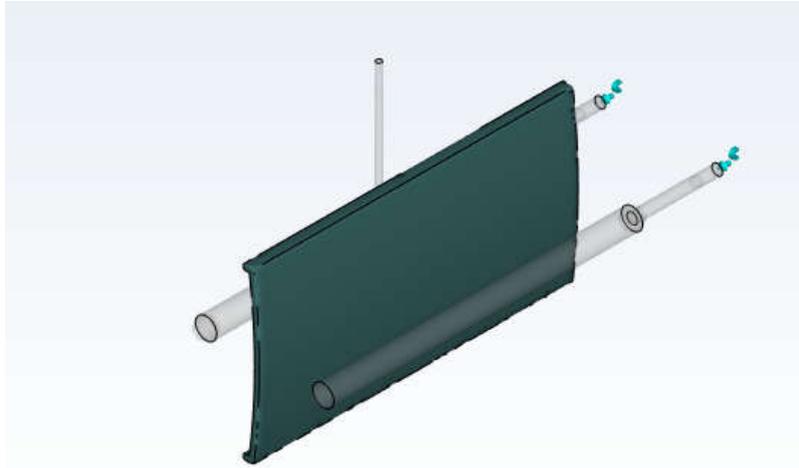


Figura 34.

	0% del modelo tiene rechupes.
Profundidad del rechupe	0.00 (mm)
Profundidad media del rechupe	0.00 (mm)
Porcentaje del modelo con propensión a rechupes	0.00 (%)

3.6.8 Deformación.

Este estudio está formado a su vez por cuatro estudios diferentes:

- Indicador de deformación por refrigeración diferencial.
- Indicador de deformación por contracción diferencial.
- Indicador de deformación por efectos de orientación.

Hay un cuarto estudio que superpone todos los defectos anteriores en el mismo estudio (Fig. 34) dando como visualización cualquier fallo provocado por alguno de estas simulaciones. En vez de ver uno a uno cada estudio, se verá en general si se producen deformaciones sea cual sea el origen.

El resultado indicador de deformación de todos los efectos resalta las áreas de la pieza en las que las deflexiones fuera del plano se acercan o superan al valor especificado de deflexión máxima nominal (NMD).

Este resultado se basa en una técnica de "ajuste perfecto", en la que la geometría original y la geometría deformada se superponen de manera que se ajusten perfectamente.

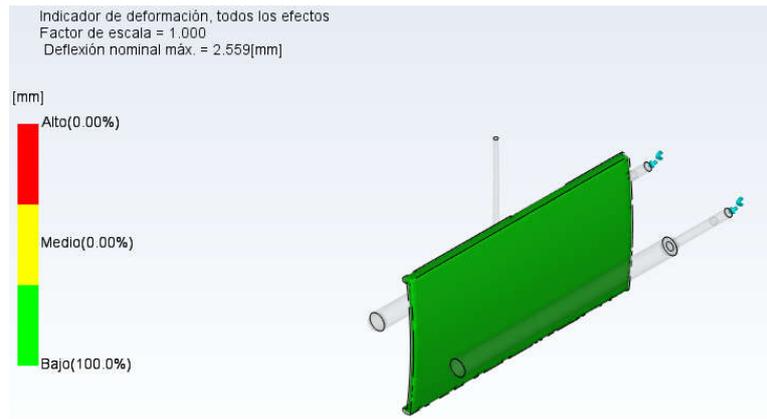


Figura 35.

Como se puede observar se tiene un resultado sin ninguna deformación prácticamente sin importar el origen.

 No se han establecido restricciones de deformación.
 Consulte [Indicador de deformación, todos los efectos](#) para establecer la restricciones.

Deformación	
Deflexión nominal máx.	2.56 (mm)
Porcentaje que supera la deflexión nominal máxima	0.00 (%)
El porcentaje está dentro de la deflexión nominal máx.	100.00 (%)