



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

INYECCIÓN Y DISEÑO DE UNA PIEZA PLÁSTICA

Autor:

Alonso Alonso, Gonzalo

Tutor:

**Sanz Arranz, Juan Manuel
CMeIM/Expresión Gráfica en
la Ingeniería**

Valladolid, Julio de 2017.

Índice

1. Resumen y palabras clave:.....	7
• Resumen:.....	7
• Abstract:.....	7
• Palabras clave	7
• Keywords.....	7
2. Introducción, objetivos:.....	9
3. Proceso de Inyección.....	11
3.1. Prensa de Inyección	11
3.1.1. Evolución de prensas de inyección:	11
3.1.2. Descripción de una prensas de inyección convencional	13
3.1.3. Elementos de las prensas de inyección.....	15
• HUSILLO:	15
• PUNTERA DEL HUSILLO:	17
• CILINDRO O CAMARA DE PLASTIFICACIÓN:	18
• BOQUILLA O TOBERA DE INYECCIÓN:	18
• TOLVA:	20
• CILINDROS (MOTORES) DE AVANCE Y RETROCESO:	21
• PLATOS PORTAMOLDES.....	21
• GRUPO DE CIERRE:	21
• BANCADA:	22
• UNIDAD DE CONTROL, CIRCUITOS ELECTRICOS, NEUMATICOS Y DE LUBRICACIÓN:	22
• ESTUFA DE MATERIAL:	23
3.1.4. Características técnicas	24
3.2. Proceso de Inyección	26
3.2.1. Fases del proceso de Inyección:.....	26
• PLASTIFICACIÓN O DOSIFICACIÓN:	27
• INYECCIÓN, LLENADO VOLUMÉTRICO DEL MOLDE:	28
• COMPACTACIÓN:.....	29
• ENFRIAMIENTO:.....	30
3.2.2. Ciclo de inyección, tiempo de ciclo:.....	31
4. Modelado de la pieza.....	33
4.1. Características de la pieza.....	33
4.2. Especificaciones geométricas.....	35

4.3. Primeros diseños.....	37
4.4. Elección diseño final.....	39
4.5. Operaciones Catia.....	40
• PLANOS LÍMITE:.....	41
4.5.1. Superficies:.....	42
• SUPERFICIE INFERIOR:.....	42
• SUPERFICIE SUPERIOR:.....	43
• SUPERFICIE MEDIA:.....	45
• PILOTOS:.....	46
• FONDO PILOTOS:.....	48
• SUPERFICIE LATERAL:.....	49
• SUPERFICIE BASE:.....	51
• RECORTE INFERIOR LATERAL (ESQUINA):.....	52
• CORTE SUPERFICIE BASE:.....	53
• REDONDEOS:.....	54
• ANCLAJES LATERALES:.....	56
4.5.2. Solidos.....	57
• Solidificación pieza:.....	57
• ANCLAJE Y CONEXIONES PILOTOS:.....	58
• ANCLAJE LATERAL:.....	59
• ANCLAJE SUPERIOR MEDIO:.....	60
• ANCLAJES SUPERIORES:.....	61
• ANCLAJES INFERIORES:.....	62
• NERVIOS:.....	63
• REDONDEOS SOLIDO:.....	64
• LOGO:.....	64
• RESULTADO FINAL DE LA PIEZA:.....	65
5. Análisis y cálculos.....	67
5.1. Estudio Reológico con “Moldflow”.....	67
• MODELOS:.....	73
• LLENADO:.....	75
• FLUJO DE PLASTICO, ÚLTIMAS ZONAS DE LLENADO:.....	76
• ATRAPAMIENTOS DE AIRE / LINEAS DE SOLDADURA:.....	77
• PREDICCIÓN DE LA CALIDAD:.....	80
• PRESIÓN DE INYECCIÓN:.....	81
• ORIENTACIÓN EN SUPERFICIE:.....	82
• ESTIMACIÓN DE RECHUPES:.....	82

• REFRIGERACIÓN:.....	83
• CONTRACCIÓN:.....	84
• COMPACTACIÓN:.....	84
• Análisis completo del modelo A.	86
5.2. Datos de la pieza.	91
5.3. Fuerza de Cierre.	91
5.4. Contracción.....	92
6. Conclusiones.....	93
7. Bibliografía.	95
8. Anexos.....	97

1. Resumen y palabras clave:

- **Resumen:**

En el presente Trabajo Fin de Grado se describe todo el proceso de inyección de plásticos a nivel industrial y se explica los principales componentes de una prensa de inyección así como su funcionamiento.

A continuación se realiza el diseño de una pieza plástica, un portón trasero de un vehículo, con el programa de CAD “Catia V5” y se explica el procedimiento de diseño y las características funcionales que ha de cumplir la pieza.

Y para finalizar, se simulan distintas alternativas para el proceso de inyección de la pieza con un programa específico de análisis de inyección de plásticos, “Moldflow”, eligiendo un proceso de llenado que garantice las exigencias de la pieza.

- **Abstract:**

In this Final Degree Paper, the process of plastic injection at an industrial level is described. Also the main components of an injection press and its working process are explained.

Next a plastic piece, a tailgate of a vehicle, is designed with the CAD “Catia V5” software. The process of the design and the functioning features that the piece must have are explained.

Finally, different options are simulated for the injection process of the piece with a specific software of injection moulding analysis, “Moldflow” in order to choose a filling process that assures the needs of the piece.

- **Palabras clave:**

Inyección, Plásticos, Diseño, CAD, Análisis

- **Keywords:**

Injection, Plastics, Design, CAD, Analysis

2. Introducción, objetivos:

A raíz de la Beca de Prácticas realizada en el Taller de Inyección de Plásticos de Renault Valladolid, uno se da cuenta que en el sector automovilístico debido al poco margen de beneficios que se obtiene, siempre se pone mucho ímpetu en la reducción de costes. Pero últimamente ha crecido la preocupación que tienen las grandes marcas automovilísticas por la reducción de peso de sus vehículos, bien vinculados por las competiciones de motor, donde reducir 100 gr de peso puede ser decisivo para hacer el mejor tiempo por vuelta o por el afán de ser más competitivos. En las competiciones automovilísticas se invierte mucho en nuevas tecnologías y nuevos materiales, que luego podemos ver en vehículos de calle.

La reducción de peso en un vehículo es verdaderamente importante porque va directamente relacionado con el consumo de combustible y ayuda al cumplimiento de las directrices medioambientales impuestas por las autoridades de los distintos países.

Pero hoy en día, hay cientos de tecnologías que no se puede prescindir en un vehículo, tanto sistemas de seguridad, de audio, de navegación, conectividad, etc. Todos estos sistemas eléctricos y electrónicos suponen mucho peso, pero en un coche actual no pueden estar ausentes ya que haríamos un vehículo menos atractivo al público y la competencia nos sobrepasaría sin esfuerzo.

Es delicado reducir peso cuando se ve influenciado la seguridad e integridad del vehículo, por eso el chasis y parte de la carrocería se sigue fabricando en acero, aunque cada vez es más común que el chasis tenga inserciones de aluminio y partes de la carrocería sean de aluminio o de materiales plásticos.

En este punto es donde cobra mayor importancia los materiales plásticos, ya que cada vez se están usando más para piezas de la carrocería de coches y vehículos comerciales. A parte del principal motivo que ya hemos comentado que sería reducir el peso final del vehículo, hay otro motivo fundamental:

El factor económico (como no), ya que si el hacer la misma pieza en plástico en vez de aluminio supone más coste, pocos fabricantes se embarcarían en realizarlas. Pero nada más lejos de la realidad, hacer el mismo tipo de pieza en plástico para grandes series sale mucho más barato por ciertas razones:

1. Para el inyectado de una pieza de plástico, por muy compleja que sea, solo se tendrá que diseñar y construir un molde. Sin embargo para realizar una embutición de una pieza metálica necesitaremos varios moldes que vayan

[Dato: En la Formula 1, de media el tiempo que se pierde en cada vuelta por cada Kg de más (ya sea de gasolina o de lastre en el coche) está entre 0,03-0,04 s/KG]

dando la forma a la pieza y diferentes procesos de soldadura hasta conseguir el diseño de la pieza final.

2. Al utilizar un solo molde, el tiempo de ciclo de cada pieza será mucho menor, por lo que tendremos una alta rentabilidad.

Pero no se queda ahí la cosa, ya que las piezas plásticas en la carrocería tienen otro motivo por el cual muchos fabricantes están empezando a usarlas en la piel de los vehículos: la seguridad del peatón.

Debido a que los paragolpes, aletas o capos de plástico absorben mucho mejor los impactos y por tanto las fuerzas que experimenta un peatón al ser atropellado son mucho menores.

Así se consiguen mejores puntuaciones en los test de seguridad como puede ser Euro NCAP.



Ilustración 1 Logo EuroNCAP

3. Proceso de Inyección.

3.1. Prensa de Inyección

Una prensa de inyección se utiliza para la producción de piezas moldeadas mediante el proceso de inyección de material plastificado. En lo que resta de documento se hará referencia como máquina de inyección, prensa de inyección o inyectora, todos nombres son válidos.



Ilustración 2 Máquina de inyección Engel 3200

3.1.1. Evolución de prensas de inyección:

A lo largo de la historia las prensas de inyección han ido evolucionado con las necesidades de cada época.

Las primeras prensas en aparecer fueron las **máquinas de pistón** (*ilustración 3*) sobre el 1872. Básicamente conseguían la inyección del plástico fundido a través del

movimiento unidireccional de un pistón, el material sufría mucha caída de presión y la velocidad de inyección no era muy rápida.

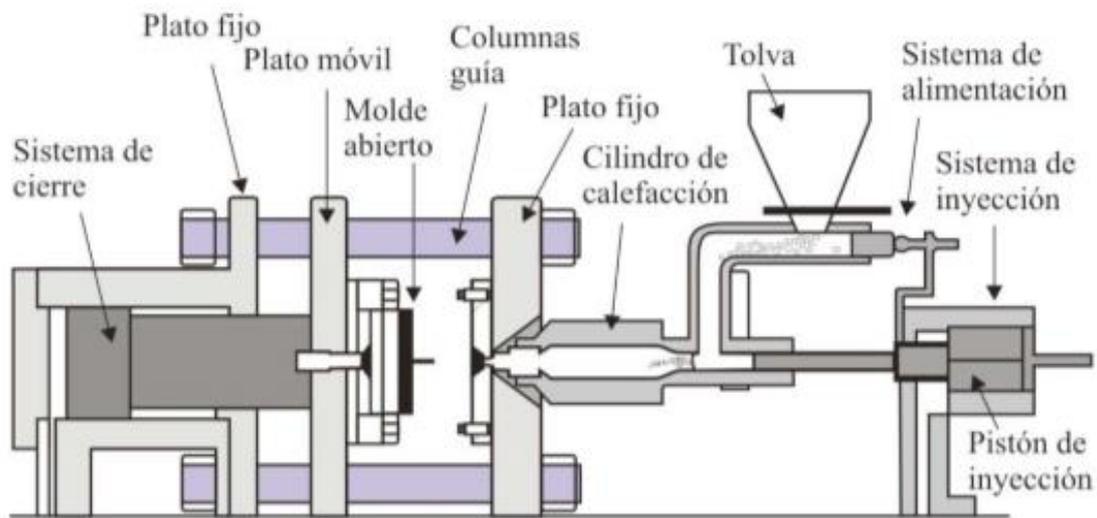


Ilustración 3 Máquina de pistón

Para conseguir mayores velocidades de inyección fueron mejoradas añadiendo una **cámara complementaria** (ilustración 4) donde se preplastifica el material antes de entrar en el cilindro inyector. Estas máquinas tenían el problema del paso de material de la cámara preplastificadora al cilindro del pistón, para evitarlo se colocaban válvulas antirretorno que había que cambiar a menudo.

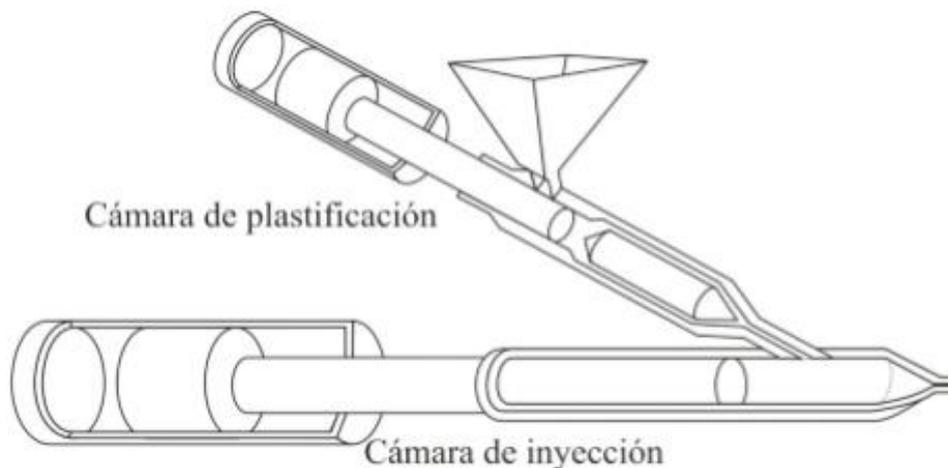


Ilustración 4 Cámara de plastificación complementaria

No fue hasta el 1951 cuando se empezaron a desarrollar las **máquinas con tornillo recíprocante**, o dicho comúnmente, con husillo. Un tornillo recíprocante es simplemente un “tornillo sin fin” que con su giro consigue que vaya avanzando el material a través del cilindro inyector.

Este es el principio de dichas máquinas, con el giro del husillo aparte de conseguir transportar el material hacia la puntera del cilindro, conseguimos que se vaya fundiendo (plastificando) a medida que avanza, gracias a dos factores:

-Primero por el calor aportado al material por conducción a través de las paredes exteriores del cilindro, que se encuentran recubierto por unas calefacciones con termostato.

-Segundo, gracias a la fricción que obliga el husillo a ejercer al material sobre las paredes internas del cilindro, se consigue convertir dicha energía mecánica en calor.

3.1.2. Descripción de una prensas de inyección convencional

Estas máquinas tienen 2 partes principales con funciones bien distinguidas: la unidad de Inyección y la unidad de cierre. A estas dos hay que añadir la unidad de control, el cerebro de la máquina, donde podremos modificar cualquier parámetro de inyección.

Unidad de Inyección: La función de esta unidad es plastificar el material e inyectarlo en la cavidad de los moldes. Dentro de esta unidad se puede distinguir, por un lado los Motores, que tienen que ser capaces de dar dos movimientos distintos al husillo, un movimiento radial para que el husillo haga avanzar el material por el cilindro (a la vez que se va plastificando), y otro movimiento axial que hará mover el husillo axialmente como un pistón y conseguir inyectar el material fundido en el molde.

Y por otro lado el cilindro de plastificación, compuesto por un husillo en su interior y el sistema de calefacción en el exterior. También hay que añadir una tolva por donde introducimos el material sólido, que puede ser sencilla para un único material o una tolva más compleja, un mezclador gravimétrico, que nos realiza proporciones de mezcla de distintos materiales.

Unidad de cierre: La función de esta unidad es producir la fuerza necesaria para cerrar los moldes durante la fase de llenado. Consta de un plato fijo, un plato móvil, guías entre los platos, sistema de expulsión de pieza, cilindros de doble efecto para el cierre/apertura del molde, cilindros para ejercer la presión de cierre, finales de carrera.

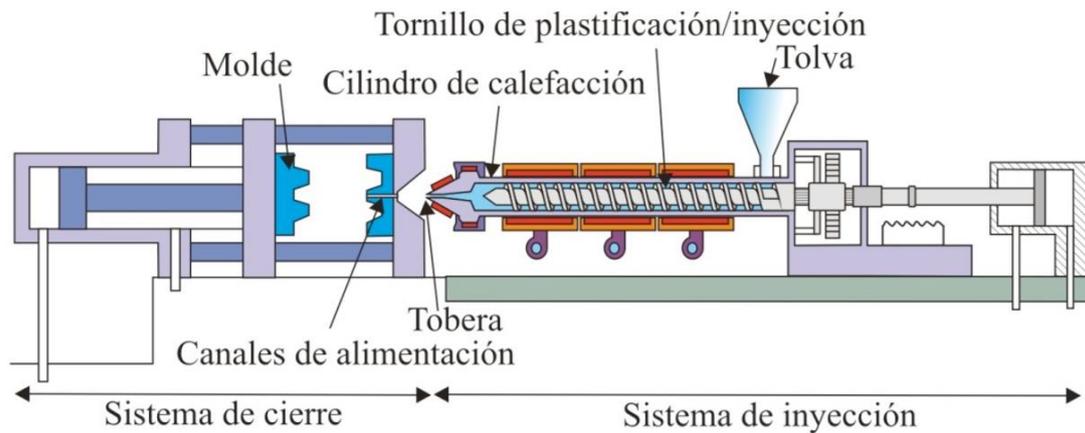


Ilustración 5 Esquema Máquina de Inyección

Estas máquinas de tornillo recíprocante o husillo son las más usadas hoy en día por ser las más eficaces, pero dentro de ellas, dependiendo del tipo de accionamiento que tengan, disponemos en el mercado de tres tipos: **hidráulicas, eléctricas e híbridas**.

Las hidráulicas fueron las primeras en aparecer y las más utilizadas, gracias a su simpleza mecánica y sus grandes fuerzas de cierre, que nos permiten fabricar piezas plásticas de gran tamaño, como pueden ser paragolpes, o portones de vehículos, además en proporción son las más económicas de fabricar. Por contra tienen un alto consumo energético, y un mantenimiento caro, ya que los derrames de aceite suelen ser habituales cuando “la máquina lleva a sus espaldas años de trabajo.”

Cuando explotó el boom de la contaminación, el planeta se concientizó de que debíamos ser más respetuosos con el medio ambiente, por eso aparecieron las inyectoras eléctricas, como principal ventaja la reducción de consumo y la inexistente contaminación de residuos como pudiera ser el aceite de las hidráulicas. También son más precisas y silenciosas pero claro, tienen sus limitaciones ya que las fuerzas de cierre que pueden generar son muy bajas y el coste de fabricación de estas máquinas eléctricas es muy caro.

¿Entonces por qué no se mezclan las máquinas hidráulicas y eléctricas eligiendo lo mejor de cada una de ellas? Pues desafortunadamente no somos los primeros en hacernos esa pregunta y estas máquinas ya están desarrolladas... son las máquinas de inyección híbrida.

Estas máquinas híbridas tratan de poner cada sistema con la tecnología que mejor les convenga, por ejemplo el cierre de los moldes suele ser hidráulico (más fuerza de cierre) y la inyección eléctrica consiguiendo ser más precisos.

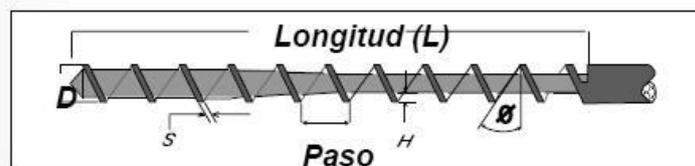
Para fabricar piezas no demasiado voluminosas están quitando mercado a las hidráulicas, pero para piezas de gran dimensión y pesos (como la pieza a diseñar y estudiar) se siguen usando inyectoras hidráulicas.

3.1.3. Elementos de las prensas de inyección

- HUSILLO:

El elemento más importante sobre todo por la revolución que causo cuando se empezaron a desarrollar estas máquinas, es el tornillo recíprocante o husillo. Tiene dos funciones principales y primordiales en el proceso de inyección, por un lado trasladar el material mientras es fundido, y por otro ejercer sobre la materia prima la suficiente presión para inyectarlo en el molde.

Dependiendo el tipo de material que transporte tendrá diferente diseño, variando la conicidad, el paso de canal, la profundidad o el ancho y ángulo de los filetes (ilustración 6):



S	ancho del filete	Entre 0.08D – 0.12D
P	paso o ancho de canal	Distancia horizontal entre los centros de dos filetes consecutivos.
D	diámetro	Distancia máxima entre los topes de los filetes del tornillo
H	profundidad del canal	Distancia perpendicular desde el tope del filete hasta la superficie del canal
θ	ángulo de hélice	Cuando el paso = D, el ángulo es 17.7°

Ilustración 6 Características dimensionales del Husillo

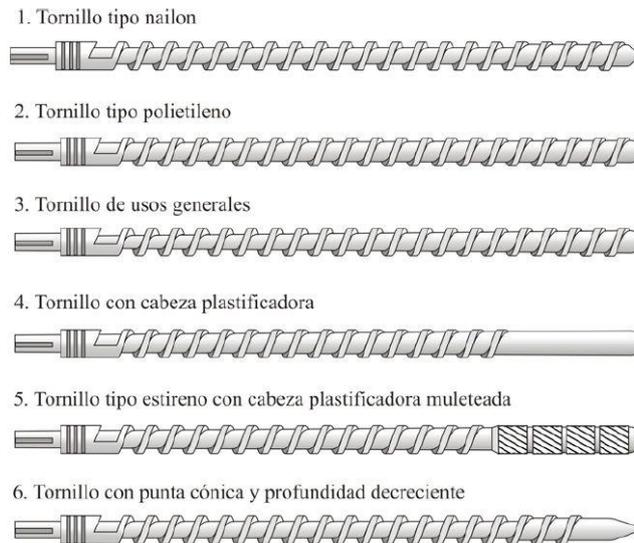


Ilustración 7 Tipos de Husillo para distintos materiales

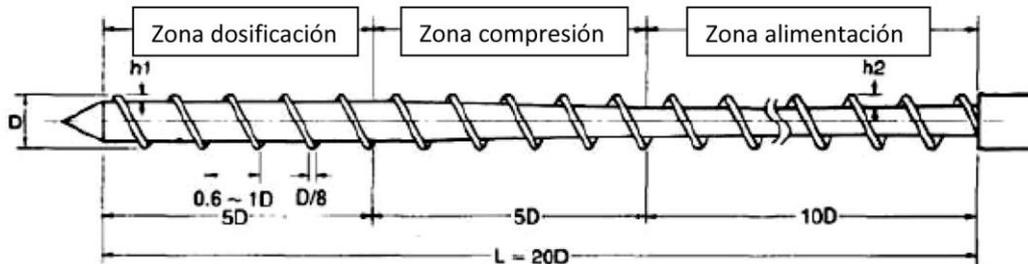
El Husillo se divide en tres zonas como se aprecia en la *ilustración 8*:

Zona de Alimentación: es la zona más alejada de la puntera, por donde recibirá el material sin plastificar. Es la zona con el diámetro del Husillo menor.

Zona de Compresión: corresponde con la zona intermedia, donde el material empieza a fundir y a conseguir las propiedades de temperatura y presión necesarias.

Zona de Dosificación: la zona cercana a la puntera, donde tendremos todo el material fundido listo para la inyección, es la sección con mayor diámetro ya que se encarga de empujar al material para la inyección.

Las dimensiones aproximadas de un husillo para inyección de plásticos son:



D= diámetro del husillo

L= Longitud efectiva del husillo ... Compresión ratio h_2/h_1

Ilustración 8 Zonas Husillo

- **PUNTERA DEL HUSILLO:**

El Husillo no podría hacer bien su función si no llevara en el extremo final una puntera acoplada. La puntera funciona como una válvula anti retorno. Las válvulas más comunes son las **válvulas de casquillo** que durante la fase de dosificación el casquillo (o anillo de cierre) se apoya sobre la puntera dejando pasar el material fundido a la boquilla del cilindro de plastificación, y después durante la fase de inyección el cilindro de la puntera apoyará sobre el husillo no dejando retroceder material y así poder realizar la presión necesaria para inyectar.



Ilustración 9 Puntera de husillo (marca Recahu)



Ilustración 10 Tipos de punteras de husillo

La *ilustración 11* corresponde a la fase de dosificación, cuando el husillo retrocede y el material fundido de la zona de dosificación pasa a la puntera del cilindro por dentro de la puntera.

Cuando el husillo avanza para inyectar material en las cavidades del molde, el casquillo bloquea el retroceso de material a la zona de dosificación del husillo (*Ilustración 12*)

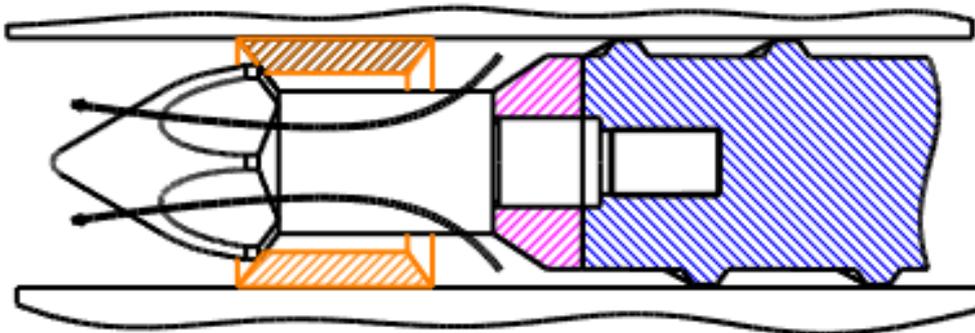


Ilustración 11 Puntera abierta

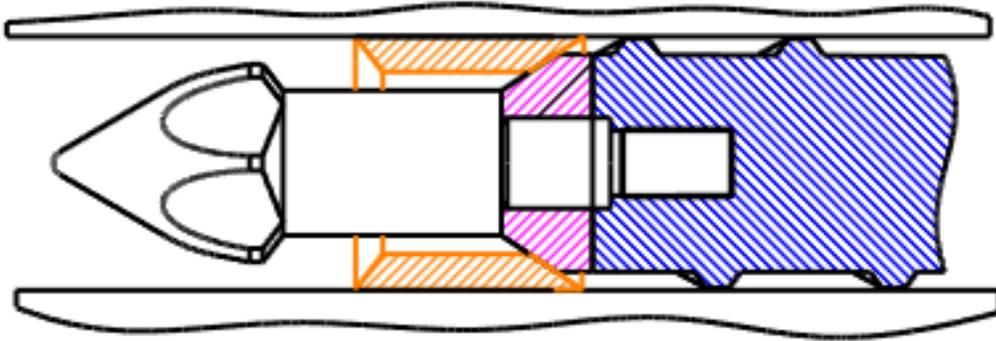


Ilustración 12 Puntera cerrada

- **CILINDRO O CAMARA DE PLASTIFICACIÓN:**

Se le denomina cámara de plastificación al cilindro que recubre el husillo y su puntera. El interior de la cámara está sometido a mucha presión y a la fricción que ejerce el material sobre él, por lo que aunque el cilindro sea de acero, lleva un recubrimiento interno de alguna aleación con un tratamiento nitrurado, o incluso se hace una deposición llamada bimetalicos cuando queremos inyectar materiales muy abrasivos como la fibra de vidrio.

En el exterior del cilindro de plastificación se colocan unas resistencias que favorecen la plastificación del material, disponen de un sistema de aislamiento térmico que limita la dispersión térmica. A lo largo del cilindro tendremos diferentes temperaturas dependiendo de la fase en la que se encuentre el material. Algunas máquinas disponen de sistemas de refrigeración al principio del cilindro, donde se deposita la materia prima, para conseguir que no plastifique antes de tiempo.

- **BOQUILLA O TOBERA DE INYECCIÓN:**

Al final del cilindro de plastificación nos encontramos con una boquilla, que será por donde salga el material fundido hasta la cavidad del molde por donde inyectaremos (bebedero). Las funciones principales serán: mantener la temperatura constante del polímero fundido, evitar el fenómeno de babeo y conseguir que la pérdida de presión sea mínima.

Existen varios tipos de boquillas (*Ilustración 13*):

Boquillas de canales abiertos: son las más comunes y al no tener ningún sistema mecánico sus diseños son de menos longitud.

Boquillas con interrupción interna o externa: disponen de sistemas de retención que nos permite controlar la salida de material. Los que llevan el sistema interno suelen ser automáticos accionados por un muelle, y los sistemas externos son accionados de forma hidráulica o neumática.

También se pueden distinguir por la forma de la puntera: redondeada, plana, cónica. Dependiendo la forma del bebedero del molde donde se han de acoplar.



Ilustración 13 Tipos de boquilla

Como se ve en la Ilustración 13 y 14, es importante que el diámetro de salida de la boquilla sea de 1 a 2 mm menor que el orificio de entrada del bebedero:

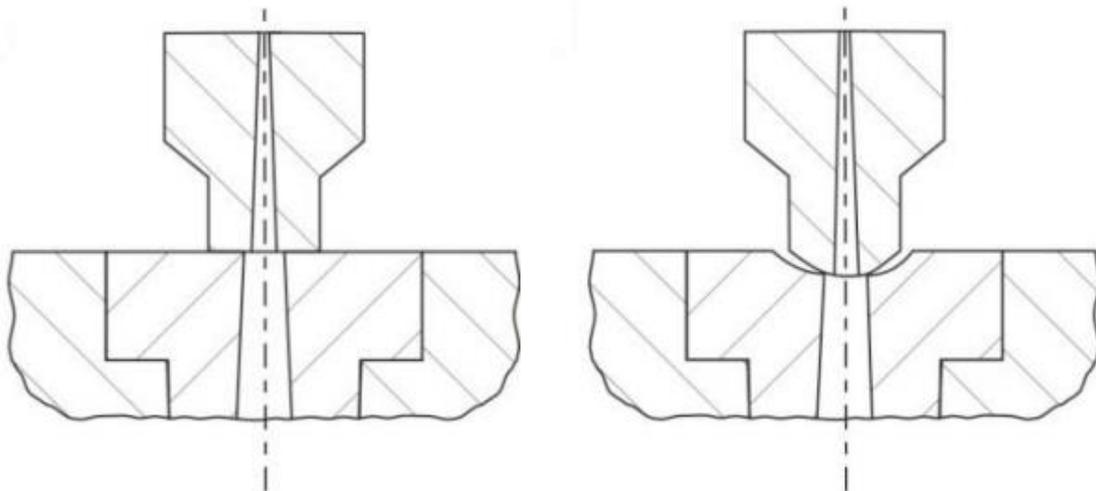


Ilustración 14 Acoplamiento Boquilla-Bebedero

- **TOLVA:**

Una tolva es un depósito donde debemos depositar la materia prima, en nuestro caso un polímero. Las tolvas suelen estar alimentadas por sistemas de tuberías a presión que van rellenando la tolva a medida que se va gastando para que no haya paradas en la producción por culpa de que no le llega material a la máquina.

Hay mucha variedad de tolvas, algunas disponen un sistema de vibrado para que no se apelmace la materia y se pueda obstruir. Las más usadas disponen de varios apartados donde podemos depositar varios materiales distintos y la propia tolva realiza la mezcla que programemos, llamados **mezcladores gravimétricos**. Otro tipo de tolvas incorporan estufas para el secado y estufado de la materia prima, aunque normalmente las estufas son sistemas independientes.

También hay tolvas con sistemas de refrigeración para conseguir que el polímero no funda antes de llegar al cilindro de plastificación.

La empresa más conocida de tolvas y mezcladores gravímetros es MAGUIRE.



Ilustración 15 Mezcladores gravímetros (marca MAGUIRE)

- **CILINDROS (MOTORES) DE AVANCE Y RETROCESO:**

El conjunto del Cilindro con su husillo y boquilla, el sistema de calefacción acoplado y la tolva tienen que poder moverse para avanzar hacia el molde o retroceder cuando queramos realizar un cambio de molde, y de esta función se encargan dos grandes cilindros (neumáticos o eléctricos) de doble efecto paralelos y coplanarios con el cilindro de plastificación, que consiguen la perfecta alineación de la boquilla en la boca del molde.

- **PLATOS PORTAMOLDES**

Son los encargados de soportar y sujetar el molde. Tendremos por un lado el plato fijo, situado a continuación de la boquilla de la cámara de inyección, y será por donde introducimos el material fundido hasta llegar a las cavidades del molde. Es importante que la boquilla y el bebedero del plato ajusten perfectamente para que no haya fugas de material ni pérdidas de presión.

Y al otro lado del molde se encuentra el plato móvil, es el encargado de mover la parte móvil del molde asegurando el cierre perfecto del molde y también de abrir el molde para facilitar el desmoldeo.

Aunque en verdad los platos portamoldes no se encargan de cerrar el molde y ejercer la fuerza de cierre, sino que de eso se encarga el grupo de cierre

- **GRUPO DE CIERRE:**

Es el encargado de mover los platos portamoldes y unir los dos platos a través de unas columnas horizontales.

La unidad de cierre tiene como funciones básicas:

- La apertura y cierre de molde.
- Asegurar la fuerza de cierre necesaria en el molde mientras transcurre la inyección.
- Accionar todo el sistema de expulsores y noyos, que sirven para facilitar el desmoldeo de la pieza del molde.

Existen diferentes tipos de grupos de cierre dependiendo principalmente del tamaño y fuerza requerida de la máquina:

1. De rodillera, accionamiento mecánico (hasta 2000 Ton de Fuerza de cierre)
2. Hidráulico (Más de 2000 Ton de Fuerza de cierre)
3. Hidráulico con bloqueo hidromecánico (Más de 2000 Ton de Fuerza de cierre)

- **BANCADA:**

La bancada o base de la maquina es una estructura sobre la que colocamos la máquina y debe soportar los esfuerzos, vibraciones y peso de la máquina, puede ser de chapas soldadas o una bancada de fundición.

- **UNIDAD DE CONTROL, CIRCUITOS ELECTRICOS, NEUMATICOS Y DE LUBRICACIÓN:**

La máquina funciona gracias a los sistemas electrónicos, circuitos neumáticos y de lubricación. Todo ello lo podemos controlar desde la unidad de control, además de los parámetros de inyección.

En la actualidad los paneles de control están basados en una gran pantalla táctil donde podremos modificar casi cualquier parámetro del proceso, ver las gráficas de inyección (evolución de la presión, temperatura, velocidad, etc.), tener guardado los diferentes parámetros dependiendo de la referencia a fabricar, guardar un registro de fallos, etc.



Ilustración 16 Detalle de circuitos neumáticos

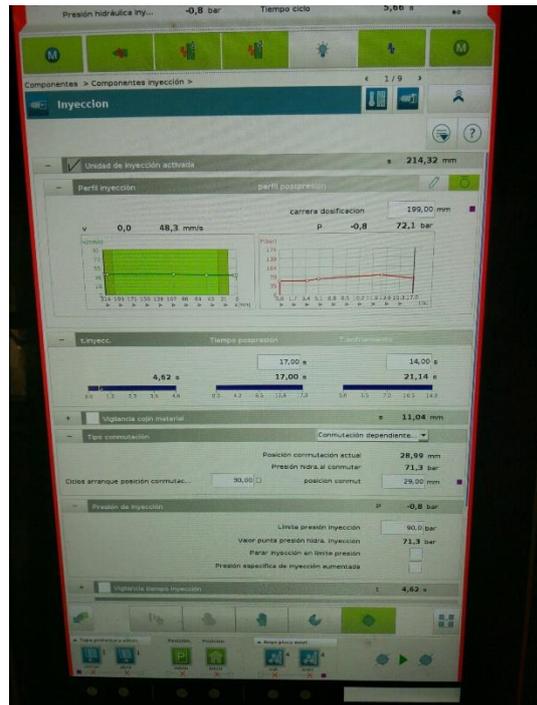


Ilustración 17 Panel de control con parámetros de inyección

- **ESTUFA DE MATERIAL:**

Aunque no sea una parte propiamente dicha de la máquina, sino un elemento auxiliar, se ha demostrado que para ciertos materiales se consiguen mejores calidades de inyección si el material se ha estufado antes de introducirlo en la prensa.

Al estufar el material se consigue eliminar cierta humedad y volver más uniforme el proceso, ya que si no la temperatura y humedad de la materia prima dependería del lugar de almacenaje.



Ilustración 18 Estufa de material (marca Alimatic)

3.1.4. Características técnicas

Para tener una referencia se muestran a continuación las dimensiones principales y las características técnicas de una máquina de inyección "ITALTECH" de 2250 Tn de Fuerza de cierre.

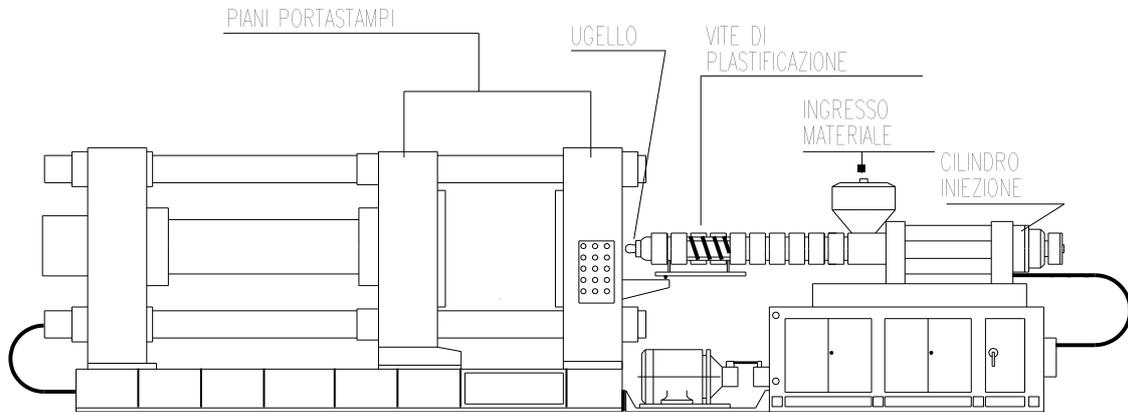


Ilustración 19: Esquema "Italtech 2250"

PIANI PORTASTAMPI = PLATOS PORTA-MOLDES
UGELLO= BOQUILLA
VITE DI PLASTIFICAZIONE= HUSILLO DE PLASTIFICACION
INGRESSO MATERIALE= INGRESO DEL MATERIAL
CILINDRO INIEZIONE= CILINDRO DE INYECCION

DIMENSIONES DE LA MAQUINA	
A- Longitud de la máquina	16500 mm
B- Anchura de la máquina	4000 mm
C- Altura de la máquina	3300 mm

A	INYECCION		
01	DIAMETRO HUSILLO	mm	130
02	CARRERA INYECCION	mm	750
03	LONGITUD HUSILLO	mm	1200
04	VOLUMEN TEORICO INYECTABLE	cm3	780
05	MAXIMA PRESION SOBRE EL MATERIAL	bar	264
06	VUELTAS MAXIMAS DEL HUSILLO	rpm	65
07	VUELTAS MAXIMAS CON MOMENTO MAXIMO	rpm	65
08	POTENCIA DE CALDEO	Kw	107
09	FUERZA DE ADHERENCIA DE LA BOQUILLA	KN	120

Gonzalo Alonso Alonso
INYECCIÓN Y DISEÑO DE UNA PIEZA PLÁSTICA

10	CARRERA DE SEPARACION DE LA BOQUILLA	mm	1200
11	CAPACIDAD TOLVA	dm3	15
12	ZONAS TERMORREGULADAS	No.	8

A-1	CAMARAS ALTERNATIVAS		
14	DIAMETRO HUSILLO	mm	130
15	VOLUMEN TEORICO INYECTABLE	cm3	780
16	MAXIMA PRESION SOBRE EL MATERIAL	bar	264

B	CIERRE		
17	FUERZA MAXIMA DE BLOQUEO	KN	2250
18	FUERZA DE ABERTURA	KN	500
19	CARRERA DE CIERRE	mm	2000
20	ESPEJOR MAXIMO MOLDE	mm	2000
21	ESPEJOR MINIMO MOLDE	mm	800
22	DISTANCIA ENTRE LAS COLUMNAS	mm	1905 x 1525
23	EXTERIOR PLATOS	mm	2880 x 2490
24	FUERZA EXPULSOR HIDRAULICO	KN	-----
25	FUERZA EXPULSOR HIDRAULICO	KN	-----
26	DIAMETRO COLUMNAS	mm	300
27	RANURA FIJACION MOLDES		
28	AGUJEROS ROSCADOS FIJACION MOLDES		

C	POTENCIAS Y OTROS DATOS		
29	POTENCIA MOTORES BOMBAS	Kw	180
30	POTENCIA TOTAL INSTALADA	Kw	287
31	PRESION HIDRAULICA	bar	160
32	TENSION MOTORES ELECTRICOS	V	380
33	TENSION DE CALDEO	V	220/380
34	TENSION CIRCUITOS AUXILIARES	V	12/24/110
35	CAPACIDAD ACUMULADOR	dm3	200
36	CAPACIDAD DEPOSITO ACEITE	l	2000
37	CAPACIDAD BOMBONAS GAS (NITROGENO)	dm3	800
38	PESO APROXIMADO	ton	125

En el Anexo 1 se pueden ver el resto de dimensiones de la máquina.

3.2. Proceso de Inyección

Como todo proceso industrial, la inyección de plástico consiste en transformar una materia prima en un producto elaborado con un cierto valor añadido.

La materia prima más usada suelen ser polímeros termoplásticos, en forma de bolitas o granzas de pequeño diámetro. También pueden ser usados materiales termoestables o elastómeros con ciertas modificaciones en el proceso.



Ilustración 20: Materia prima: polipropileno negro

De forma general, el proceso de inyección básicamente consiste en fundir dicha materia prima y gracias a una cierta presión hacerla fluir por un molde, el cual tendrá la forma de nuestro producto final, una vez que se enfríe y solidifique el material, conseguiremos la pieza.

Esquemáticamente es un proceso sencillo, pero en el cual hay que tener en cuenta muchos parámetros y características tanto de la prensa y el molde como del material.

3.2.1. Fases del proceso de Inyección:

El proceso de inyección es un proceso termodinámico en el cual la materia prima sufre varios cambios de estado: de sólido a líquido y de líquido a sólido.

Para estudiar el movimiento de estos polímeros fundidos no podremos utilizar las ecuaciones de estado de los fluidos newtonianos, ya que estos materiales tienen una alta viscosidad, por lo que se rigen por las ecuaciones de Navier-Stokes.

Desde un punto de vista termodinámico el proceso lo podemos dividir en cuatro fases:

- **PLASTIFICACIÓN O DOSIFICACIÓN:**

En esta etapa sometemos al material sólido a un aumento de la temperatura y la presión para conseguir que funda y pase a estado líquido. Es el proceso de preparación del material para después poder inyectar.

El fundamento físico es sencillo, el material depositado entre los filetes del husillo o tornillo sin fin es arrastrado por este a través de la cámara de plastificación por lo que conseguimos ir fundiendo el material por la fricción del material con las paredes de la cámara cilíndrica y por las resistencias colocadas en el exterior de la cámara de plastificación, hasta que consigue llevar el material a la puntera del husillo, quedando almacenado material fundido entre la puntera y la boquilla de inyección. La longitud que ocupa este material se le llama carrera de dosificación (que multiplicado por la sección de la cámara nos dará el volumen de material fundido).

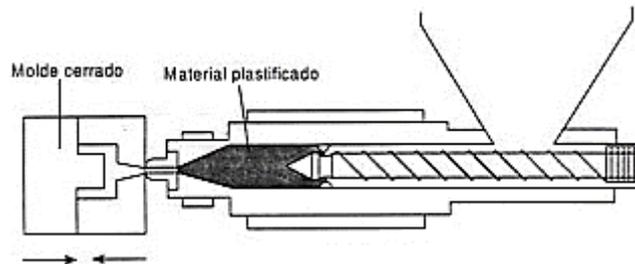


Ilustración 21: Cierre del molde e inicio de la inyección

A medida que se va acumulando más material entre la boquilla y la puntera del husillo se consigue un aumento de presión ejercida por este plástico fundido que hace que el husillo retroceda de forma no controlada, por eso sobre el husillo se ejerce una **contrapresión** que ayudará a sujetar el husillo y que retroceda de forma controlada. Es importante esta contrapresión porque sin ella o con contrapresiones bajas puede que el material no llegue a homogeneizarse bien. Por el contrario si aumentamos la contrapresión aseguramos una buena homogeneidad tanto del material como de la temperatura, dosis de carga más regular y mejor evacuación de gases.

El tiempo que el husillo este dosificando materia nueva vendrá impuesto por el tiempo necesario de enfriamiento, porque son fases simultaneas. Por tanto, utilizaremos la contrapresión para ajustar el tiempo de dosificación del husillo al tiempo de enfriamiento de la pieza en fabricación

De este modo los parámetros importantes que debemos controlar son la temperatura del material que este dentro del rango optimo y que sea homogénea, que el material no contenga más humedad de la permisiva, ya que puede producir gases y que se reflejen en la pieza y en caso de que sea una mezcla de materiales, garantizar su buena homogeneidad.

Desde el panel de control de la prensa podremos controlar parámetros como: Revoluciones del husillo, temperatura del material a través de los calefactores, contrapresión, cantidad de carga de material, descompresión, etc.

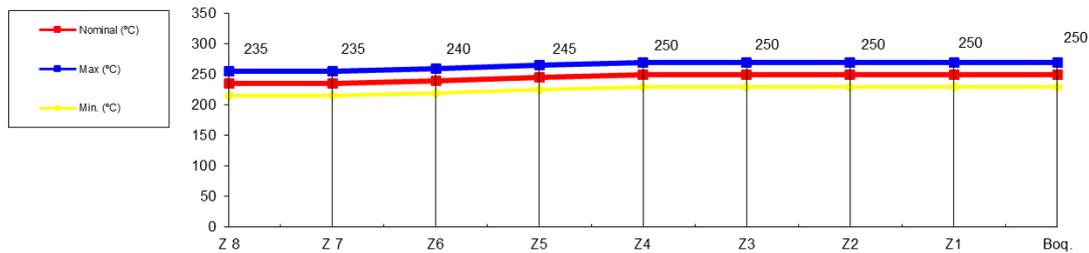


Ilustración 22 Perfil de temperatura del cilindro

- **INYECCIÓN, LLENADO VOLUMÉTRICO DEL MOLDE:**

En esta fase se produce el llenado de las cavidades del molde con la forma de la pieza que queremos fabricar, el correcto funcionamiento de la misma condiciona el llenado completo de la pieza y su acabado, aunque luego veremos que también depende mucho de la fase de compactación.

El principal parámetro de esta fase es la velocidad lineal del husillo, transmite la presión necesaria al material para que sea capaz de llenar todas las cavidades del molde. La cantidad de materia introducida será siempre inferior al 100% de las cavidades, que será completado en la siguiente fase (Compactación)

El polímero fundido es obligado a pasar por secciones de muy distinta sección por lo que cuando pasa por secciones muy estrechas por la acción de las fuerzas de cizalladura el fluido aumentara la temperatura, por lo que disminuye su viscosidad y hace el llenado volumétrico más rápido.

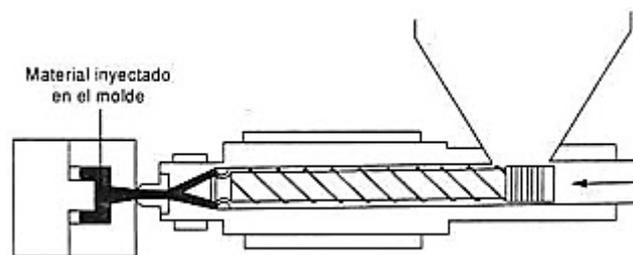


Ilustración 23 Inyección del material

Se tiene que tener en cuenta la temperatura de las paredes del molde, ya que si es muy baja respecto al fluido en cuanto entren en contacto ambas, el fluido solidificara rápidamente influyendo en las propiedades estéticas y estructurales del producto final. Esta capa solida también se ve influenciada por el calentamiento por fricción del fluido sobre ella.

En la capa límite las cadenas poliméricas se ordenan, por lo que aparece una zona de orientación alta, que influye a la resistencia mecánica de las piezas. Además es una zona de elevadas contracciones lo que originará que la pieza se contraiga más originándose alabeos y deformaciones. Sin embargo las características del núcleo de la masa fundida se lo dará la fase de compactación

- **COMPACTACIÓN:**

Una vez que se realiza la inyección, el material dentro de las cavidades del molde comienza a enfriarse y solidificarse, y por tanto a contraerse.

Esta acción es indeseada, se tiene que evitar si se quiere conseguir las dimensiones y acabados exigidos para la pieza. Es por lo cual existe la fase de compactación procediendo la fase de inyección.

Cuando finaliza la fase de inyección, con el husillo adelantado seguiremos inyectando un poco más de material que avanzará por dentro de la pieza empujando las paredes de la pieza contra el molde, por lo que conseguiremos que se homogenice la presión en el interior del molde, por tanto la densidad y conseguiremos unas propiedades uniformes en toda la pieza. Esta fase se la llama **compactación o mantenimiento**.

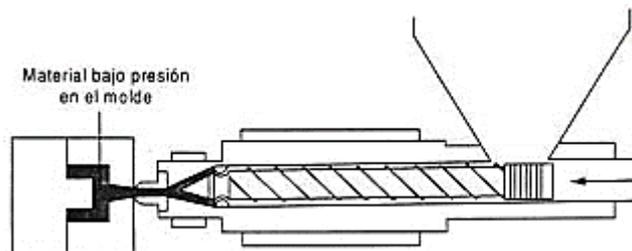


Ilustración 24 Aplicación de la presión de compactación

Por lo que esta fase es de vital importancia, ya que afecta mucho en las propiedades mecánicas, el peso y las dimensiones finales de la pieza.

Cuando se inicia la fase de compactación, el interior de la pieza está en estado líquido y a medida que pasan los segundos se va solidificando desde la periferia de la pieza hasta los puntos de inyección que son los de mayor temperatura. Por esa razón el perfil de presión de compactación deberá ir disminuyendo ya que cada vez se tiene menos material líquido. En la mayoría de las piezas es necesario que el perfil de presión tenga al inicio una subida escalada, porque si damos toda la presión justo después de la inyección lo normal es que salga una pieza con muchas rebabas porque el material líquido ocupa más y no ha entrado todo en el molde. La fase de compactación se habrá terminado cuando solidifique la entrada de la cavidad del molde.



Ilustración 25 Plastificación del material

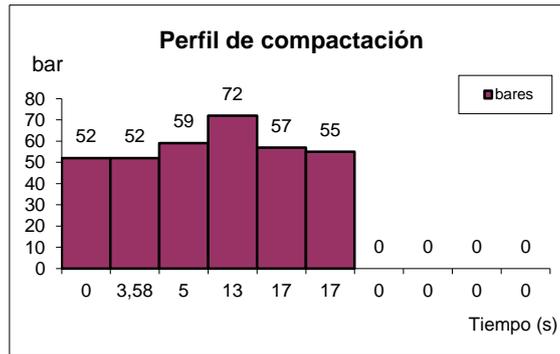


Ilustración 26 Perfil de presión de compactación

- **ENFRIAMIENTO:**

(Esta etapa transcurre al tiempo que la dosificación)

Aunque el polímero empieza a enfriarse desde que sale de la cámara de plastificación no se empieza a cuantificar hasta que termina la fase de compactación y dura hasta la apertura del molde, aunque en realidad fuera del molde se sigue enfriando el material.

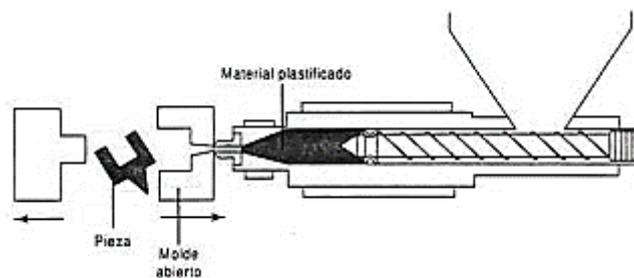


Ilustración 27 Enfriamiento y extracción de la pieza

El enfriamiento nos influye directamente en las dimensiones finales de la pieza, debido a las contracciones que sufre el material cuando se enfría.

Dependiendo del espesor de la pieza el tiempo de enfriamiento será mayor o menor, ya que tenemos que garantizar que cuando se abre el molde nuestra pieza tenga la solidez suficiente para que desmolde correctamente y no se deforme.

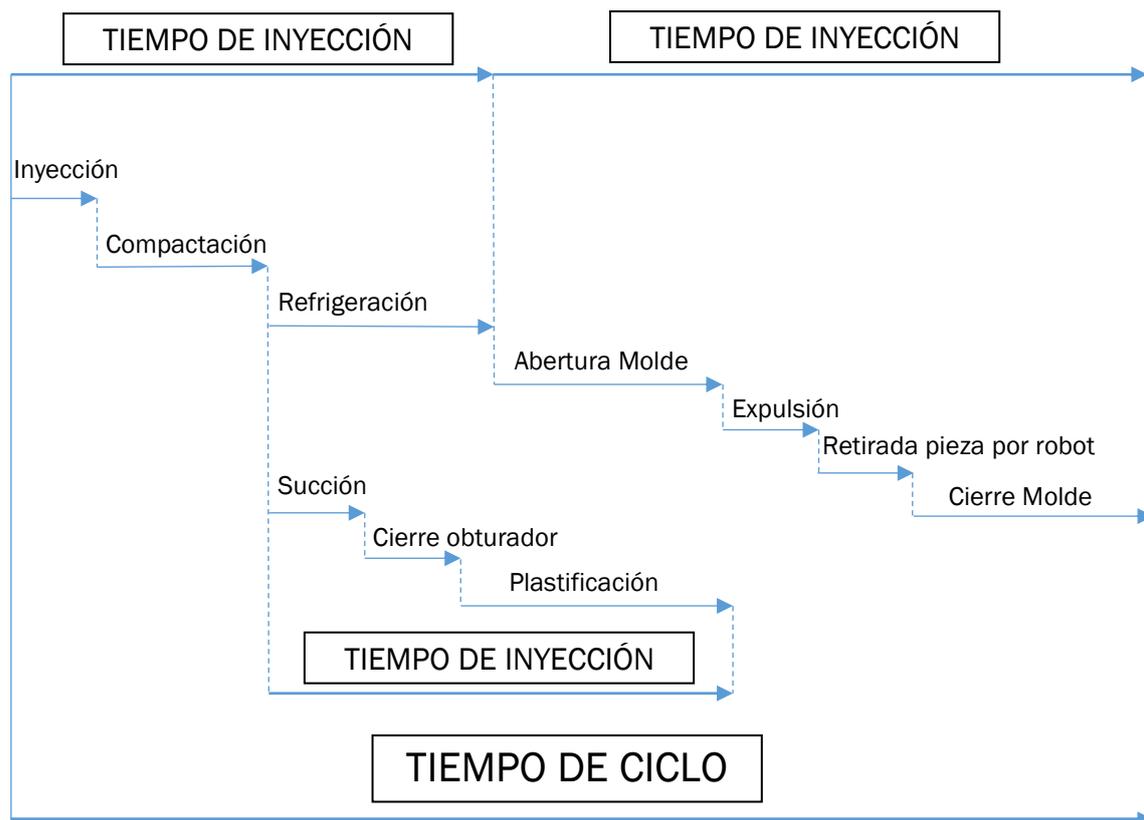
Durante el tiempo que la pieza se enfría dentro del molde, las contracciones están limitadas por el molde, pero esto hace que aumenten las tensiones internas del material.

3.2.2. Ciclo de inyección, tiempo de ciclo:

Se llama “ciclo” de inyección porque que es un proceso continuo repetitivo, donde se solapan varias etapas, estas se constituyen por los tiempos que tarda cada etapa para al final sumando todos conseguir el tiempo ciclo (tiempo que tarda en fabricarse una pieza).

El tiempo de ciclo está dividido en tres partes principales:

- TIEMPO DE MÁQUINA
- TIEMPO DE PLASTIFICACIÓN
- TIEMPO DE INYECCIÓN



Esquema 1: Tiempo de Ciclo

El orden por el que empezar a contabilizar tiempos es irrelevante, porque como se ha dicho es un proceso repetitivo por lo que se acabara el ciclo cuando se repita la primera operación con la que se haya empezado.

4. Modelado de la pieza.

El programa de CAD que utilizaremos será CATIA V5R21 (Dassault Systemes), haciendo uso de los siguientes módulos de dicho programa: Sketcher, Part Design, Drafting, Generative Shape Design

La pieza a modelar será un portón trasero de un vehículo tipo compacto, cuyo material será Polipropileno (con aditivo de talco) y sus funciones son:

- Estéticas; dar continuidad a la carrocería del vehículo haciendo que éste tenga un diseño llamativo que impacte visualmente al ver el vehículo desde una visión trasera.
- Disponer de unas cavidades donde encajen los focos traseros del vehículo y asegurar la perfecta sujeción del foco.
- Poder incorporar el logo de la marca de una forma vistosa y ergonómica.

Este tipo de piezas, portón o panel trasero, históricamente se han construido por embutición de acero, pero como ya hemos comentado anteriormente en la actualidad son más las marcas de automoción que se decantan por su fabricación con diferentes polímeros, gracias a las ventajas que tiene.

4.1. Características de la pieza.

Es una pieza que pertenece a la carrocería del vehículo, por lo que son varios aspectos importantes los que debe cumplir:

En primer lugar que la pieza se pueda acoplar perfectamente al resto de las piezas de la carrocería y a su vez que el conjunto mantenga su resistencia estructural.

Se puede pensar que al colocar piezas de plástico y acero al lado unas de otras en las juntas de unión se puedan notar, tanto visualmente como estructuralmente, pero no es así. Visualmente no se aprecia diferencia de una pieza metálica con una plástica, siempre que se haya realizado bien los procesos de pintura en ambas piezas. Y estructuralmente tampoco habrá diferencias mayores ya que la pieza plástica tiene su correspondiente refuerzo y va sobre piezas del chasis principal del vehículo.

Es imprescindible que la pieza tenga un buen acabado superficial para que una vez pintada su aspecto visual sea perfecto y no difiera con el resto de piezas (armonía). Para ello se debe usar un polímero que nos garantice el fabricante buenas aptitudes a las capas de pintura, aunque lo que de verdad importa es realizar un proceso de pintado acorde al tipo de material. En el caso de la pieza a estudiar, un portón trasero plástico (o paragolpes, se usa el mismo proceso) recibirá primero una serie de baños que limpian cualquier impureza o suciedad que pueda tener la pieza.

A continuación pasaría a la etapa de **flameado**, donde unos robots con unas grandes llamas recorren todas las partes de la pieza que irán pintadas, con este proceso conseguimos volver más porosa la superficie plástica y hacer que adhiera mejor la primera capa de pintura, que suele ser de **imprimación** o apresto, que nos servirá de nexo de unión entre la pieza plástica y la pintura de color, su espesor oscila entre 5-15 micras.

Por tanto el siguiente paso es el **pintado de lacas** (la capa que dará el color), donde daremos un cierto espesor (aconsejado por el fabricante de la pintura: entre 20-30 micras los colores claros con poco poder cubriente (blancos, amarillos) y entre 10-20 micras el resto de colores) hasta que tengamos un color conforme y haya tapado completamente el apresto.

Y para finalizar se recubre la pieza con una capa de **barniz**, que consigue dar un buen acabado superficial, proteger la pintura y dar brillo a la pieza. La capa de barniz suele estar en torno a 30-50 micras de espesor, con lo que se consigue proteger la pintura de las adversidades a las que pueda estar expuesta la pieza.

Para asegurar la conformidad de la pintura se realizan varios ensayos que simulan las peores condiciones a las que se puede enfrentar la pieza: Ensayos de adherencia, karcher, cámara de humedad, cámara de calor y gravillonado.

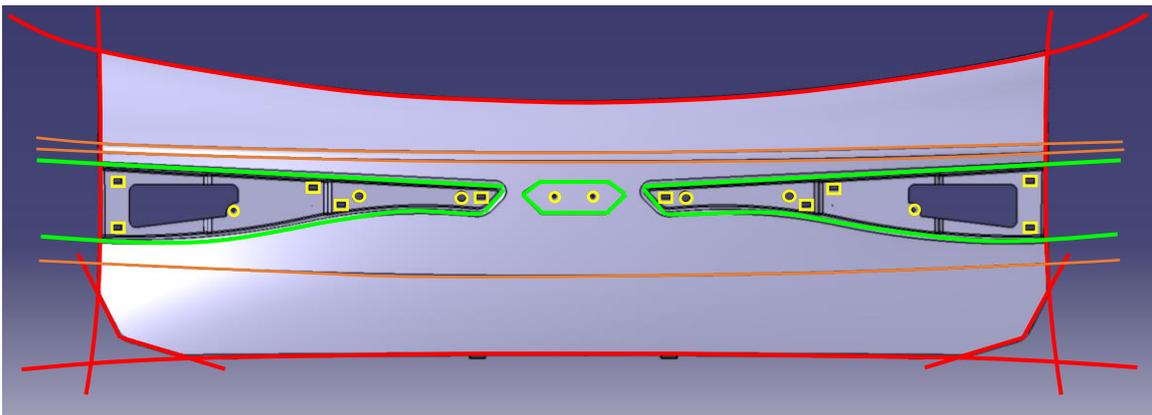
Con estos ensayos garantizamos la resistencia de la pintura en distintas situaciones climatológicas, a los rayones, al oxido, al contacto con fluidos agresivos o a pequeños golpes. A la hora de absorber pequeños golpes el plástico consigue mejores resultados que el acero, ya que una pieza de Polipropileno será capaz de amortiguar el golpe deformándose la pieza en el momento del impacto y a continuación recuperar su forma inicial.

4.2. Especificaciones geométricas.

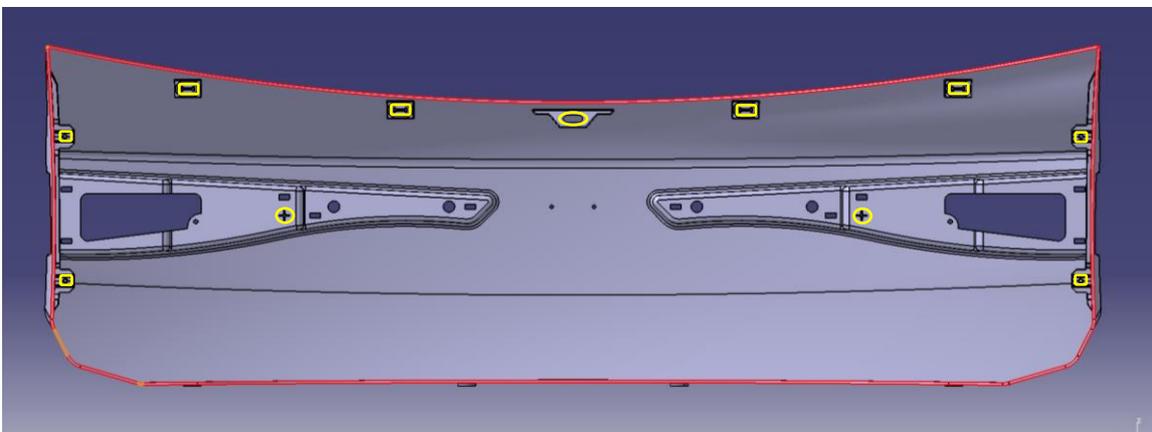
Al ser una pieza de la piel del vehículo, no tiene que desentonar con las demás partes del vehículo y quedar completamente integrada. Se tendrá que integrar con la llamada “caja” del vehículo y los paragolpes. Estas premisas vienen dadas antes del diseño de nuestro panel trasero y nos tendremos que adaptar a ellas, para la pieza a diseñar tendremos impuesto:

- El perfil exterior e interior de la pieza. (ROJO)
- Montabilidad de la pieza: las pletinas, agujeros y cavidades donde irán tornillos y tuercas para el montaje de dicha pieza con el resto del conjunto. (AMARILLO)
- Las líneas de diseño de las piezas contiguas para poder integrar perfectamente la pieza. (NARANJA)
- En esta pieza en particular también vendría impuesto la posición, forma y tamaño de los pilotos y el tamaño y dimensiones del logo de la marca. (VERDE)

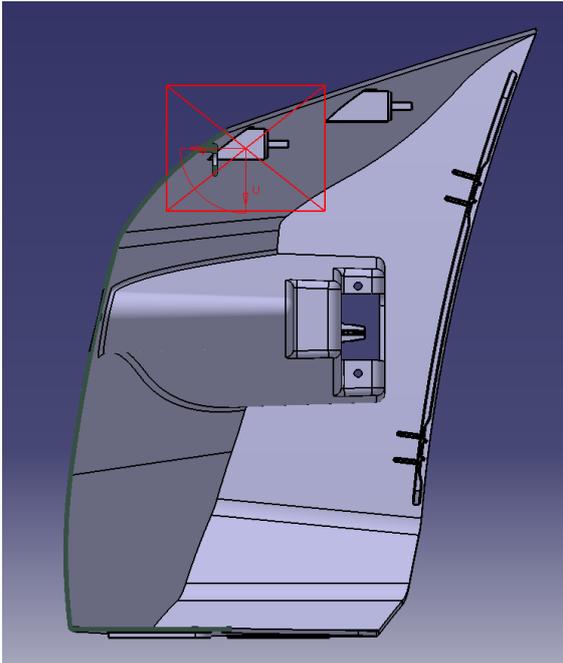
Vista Frontal:



Vista trasera:



Perfil:



Aunque en la realidad todos los diseñadores o conceptores del vehículo trabajan en común, exponiendo las necesidades y problemas particulares de cada pieza y viendo cómo se puede solucionar modificando el resto de piezas contiguas. Como no podía ser de otra manera es un trabajo en equipo, donde el vehículo sufre muchas modificaciones en esta fase de diseño, es su mayoría pequeñas modificaciones de anclajes y taladros, pero otras veces grandes modificaciones al aparecer necesidades no contempladas en los primeros bocetos del diseño

Esta forma de trabajo en conjunto se puede llevar a cabo en Catia V6, donde basándose en unos esquemas principales con las líneas directrices del diseño general, cada concepor ha de adaptarse y reflejar el diseño de su pieza en él.

Otro dato que debemos cumplir es no superar el peso máximo impuesto, siempre cerciorándose de que la pieza cumpla con los requisitos mínimos de resistencia mecánica.

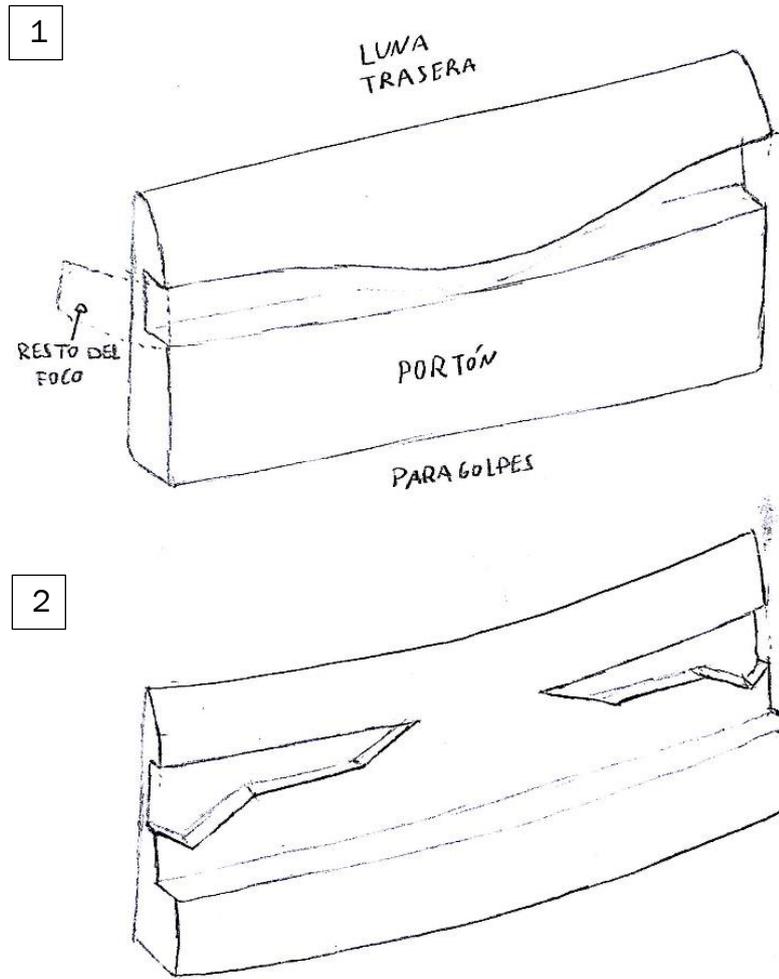
4.3. Primeros diseños.

Una vez que tenemos claro cuál son las características que debe tener nuestra pieza, empezaremos con el diseño de la pieza. Debemos tener en cuenta el tipo de pieza que es:

Pertenece a la carrocería del vehículo en una posición de media en altura, se encuentra encima del paragolpes trasero y debajo de la luna trasera, los laterales están delimitados por los laterales de la carrocería trasera del vehículo, por tanto es una pieza muy visible a primera vista.

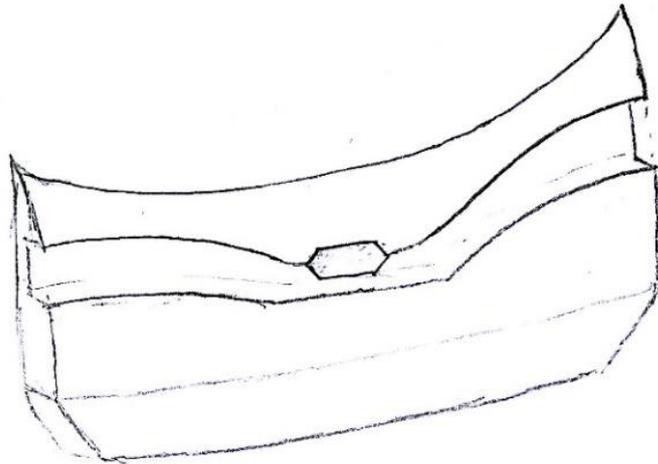
La zona que ocupa es bastante grande en proporción con el vehículo entero, ya que cubre todo el frontal trasero. Esto quiere decir que debe ser una pieza bonita visualmente hablando y que concuerde con el resto de la carrocería, debe continuar las líneas que lleva la carrocería en el resto del vehículo, por eso a la hora de diseñar una pieza de la carrocería siempre hay que tener en cuenta el resto de diseños de las demás piezas contiguas como ya hemos comentado, normalmente lo que se hace es realizar un primer diseño de todo el conjunto y después ir puliendo el diseño de cada pieza para que al final consigamos un todo que sea coherente y con continuidad.

El portón a diseñar es para un coche compacto, con carácter deportivo y con unas líneas bien marcadas. Dicha pieza va a incluir el logotipo de la marca automovilística y parte de los pilotos traseros, ya que el resto de los pilotos tendrán que ir en las piezas de la carrocería que se encuentran en los laterales traseros (parte superior de las ruedas traseras) para que las luces también sean visibles desde el lateral del coche. Se colocarán unos pilotos traseros grandes, ya que aparte de ser un elemento decorativo muy llamativo son un elemento de seguridad pasiva, son tan importantes los faros delanteros para ver, como los traseros para ser vistos. Aunque de ello depende mucho la tecnología de las luces (leds, láser), el tamaño ayuda a ser vistos. Se puede ver a continuación los primeros croquis de la pieza, son varios diseños con diferentes estilos y características:

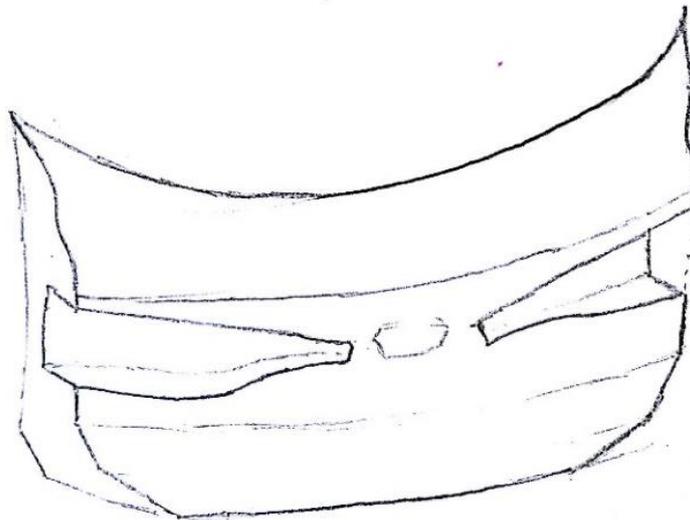


En el primer diseño es una pieza base, para tener claro la posición geométrica de la pieza y la proporción. El segundo diseño muestra unas líneas rectas de carácter firme, que puede ser más adecuado para un vehículo 4x4 por la sensación de robustez que da.

3



4



Sin embargo los diseños 3 y 4 son más adecuados para el vehículo a diseñar, un compacto de aire deportivo.

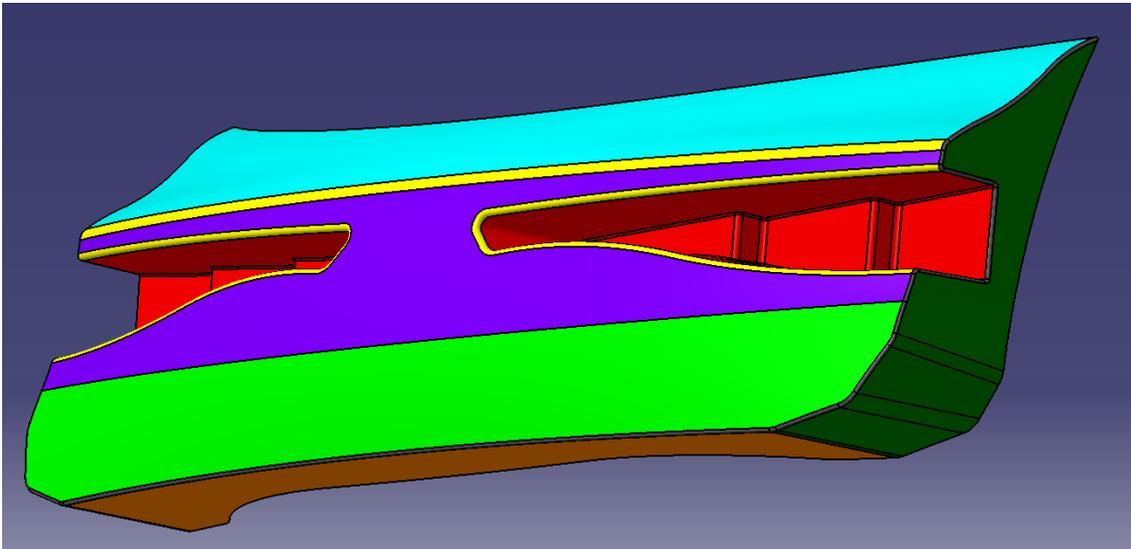
4.4. Elección diseño final.

Para la elección del diseño final, habrá que tener en cuenta varios factores como: La compatibilidad con el resto del vehículo, el modelo que mejores aptitudes mecánicas se prevé que tendrá, el que menos problemas nos dará en la inyección (evitar zonas laberínticas o de difícil desmóldelo), una estimación del coste del molde, etc.

Por eso el diseño definitivo se parecerá más al **diseño 4**, ya que el 3 se puede prever que su inyección y diseño del molde será mucho más complejo y costoso, ya que lleva toda la parte superior de los pilotos “al aire” y su desmóldelo lo más probable es que sea problemático.

4.5. Operaciones Catia.

La estructura del árbol de operaciones se muestra a continuación, al lado la pieza final indicando la posición de cada parte específica de la pieza:

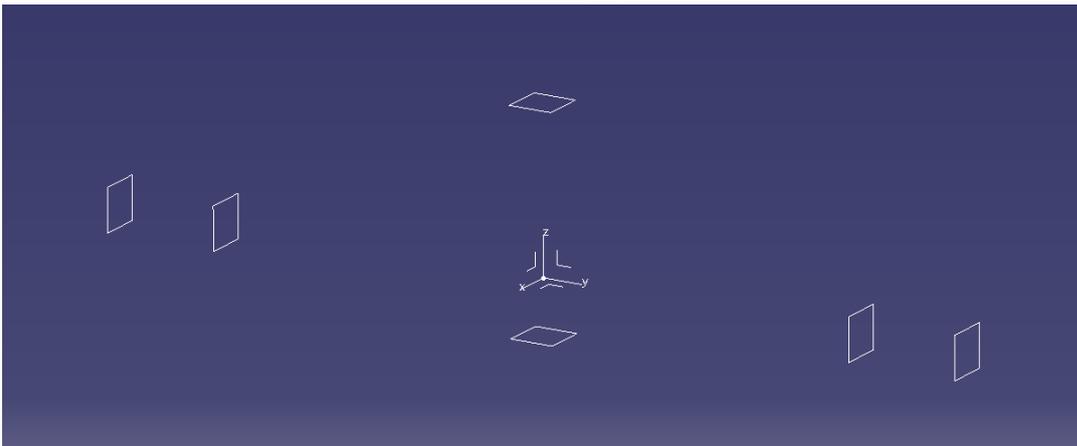


- SUPERFICIE INFERIOR
- SUPERFICIE SUPERIOR
- SUPERFICIE MEDIA
- SUPERFICIE PILOTOS
- REDONDEOS EN CURVATURA
- SUPERFICIE LATERAL
- SUPERFICIE BASE
- REDONDEO INTERNOS PILOTOS
- REDONDEOS EXTERNOS

A continuación se irá numerando y explicando las distintas operaciones realizadas para la concepción de la pieza:

- **PLANOS LÍMITE:**

Lo primero es delimitar la pieza con unos planos límite, los planos laterales más alejados son para hacer las superficies de la cara vista, que luego se cortaran para dar las dimensiones finales de la pieza.



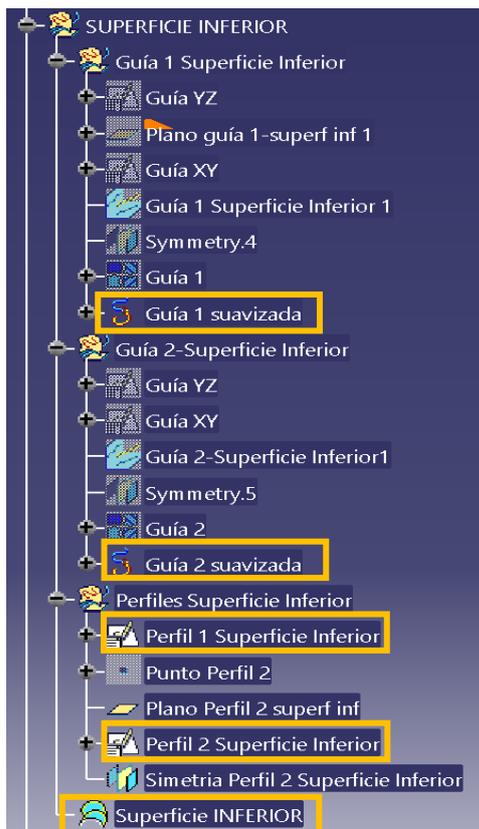
4.5.1. Superficies:

Todas estas operaciones se realizan con el módulo de superficies: “Generative Shape Design”, cada superficie se crea por separado en diferentes “Geometrical Sets”

Superficies Principales:

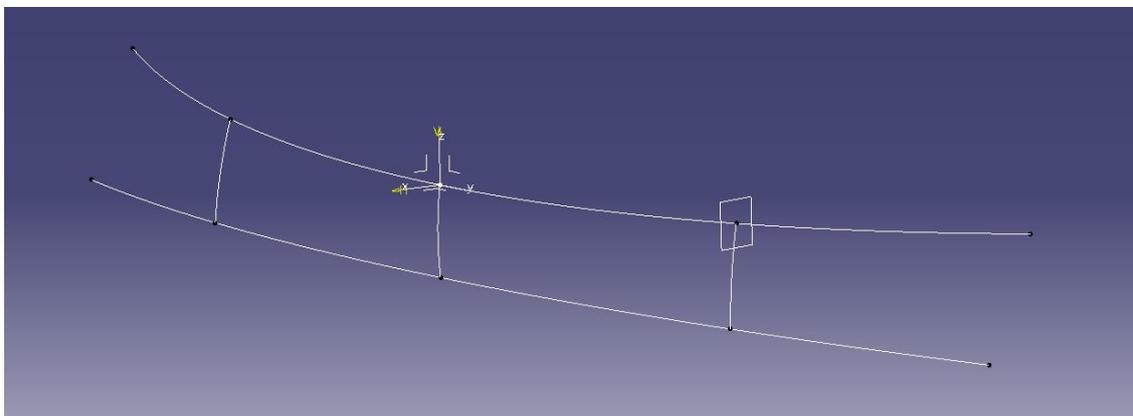
La parte más visible de la pieza, es decir las caras que pertenecen a la piel del vehículo estará constituida por 3 superficies principales.

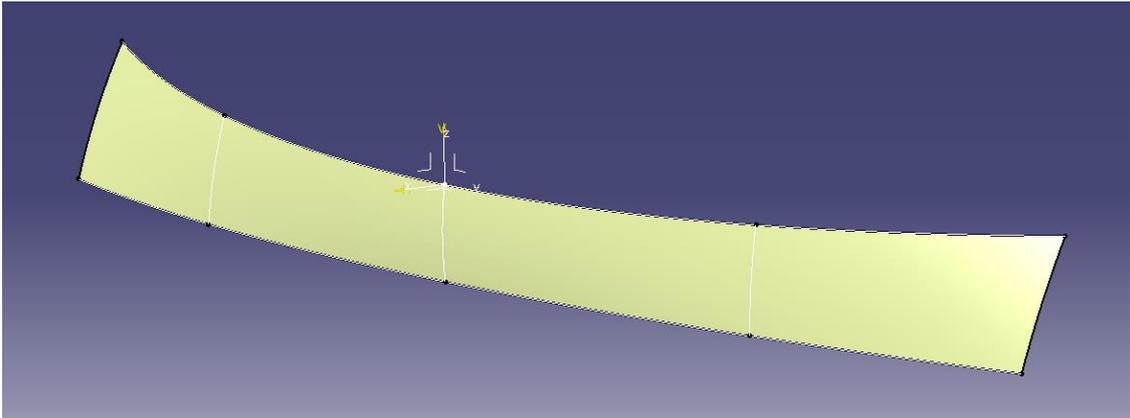
- **SUPERFICIE INFERIOR:**



La primera superficie que se diseña será la inferior, con dos guías (a su vez creadas por la combinación de otras 2 curvas, en plano YZ y XY) y varios perfiles para tener controlada la superficie a lo largo de las dos guías.

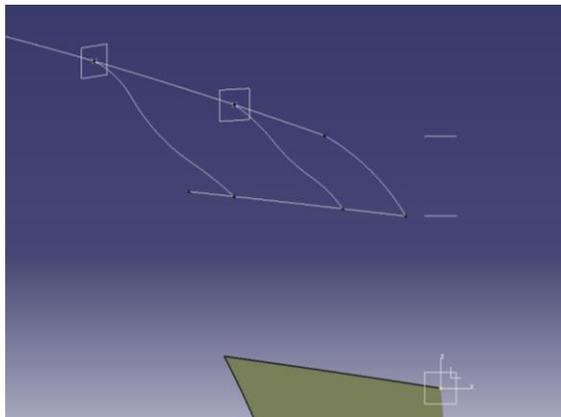
Se suaviza las guías para que no aparezca la línea de unión de la simetría, y así se consigue una superficie continua sin aristas intermedias.





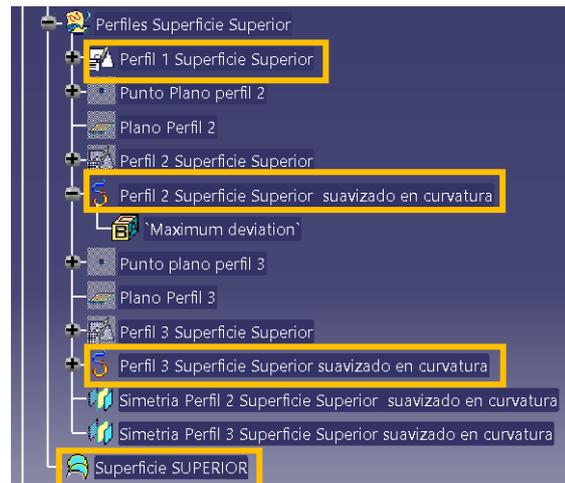
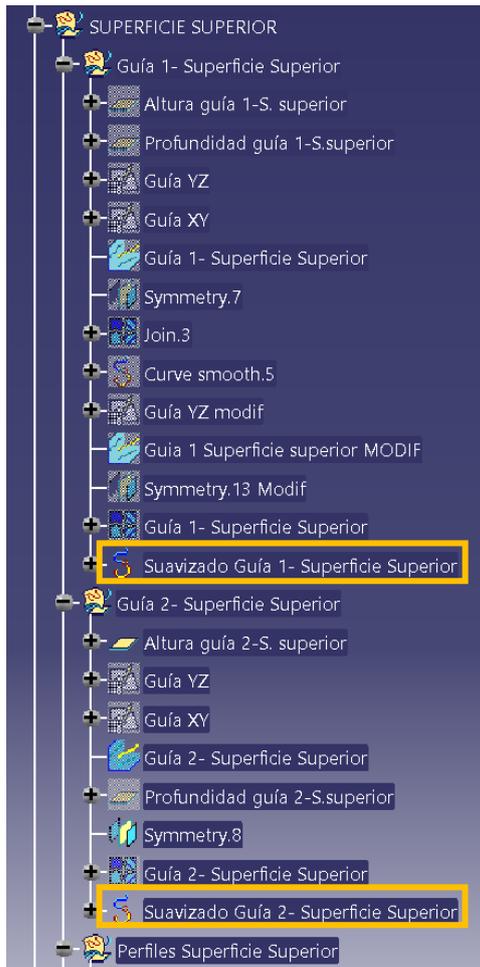
- **SUPERFICIE SUPERIOR:**

La segunda superficie principal de la cara vista será la superior, en la cual irá apoyada la luneta trasera, por lo que la guía superior es común para portón y luneta trasera. Las guías serán construidas igual que las anteriores, por combinación de 2 curvas (planos YZ y XY). Se crean varios perfiles a lo largo de las dos guías conectándolas entre sí, deberán tener una forma similar para que quede una superficie limpia y continua.

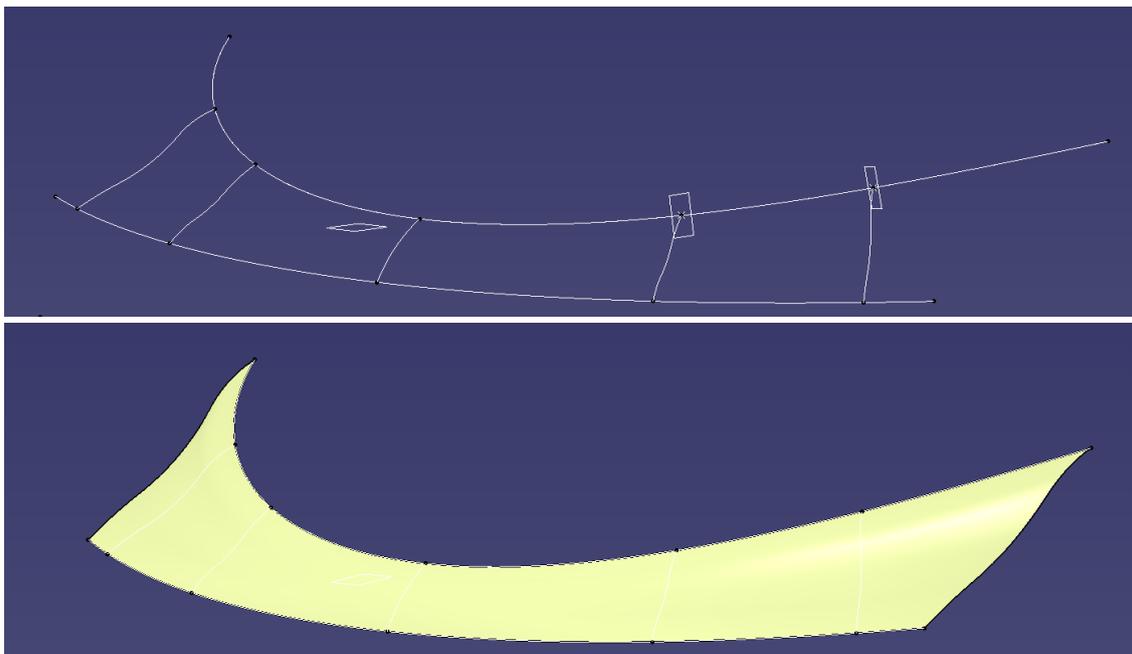


Los perfiles se crean en planos auxiliares que son perpendiculares a la guía superior.

Se aprecia como la geometría de los perfiles va desde más pronunciado en el lateral a una curva simple en el medio, así conseguimos construir una superficie totalmente controlada

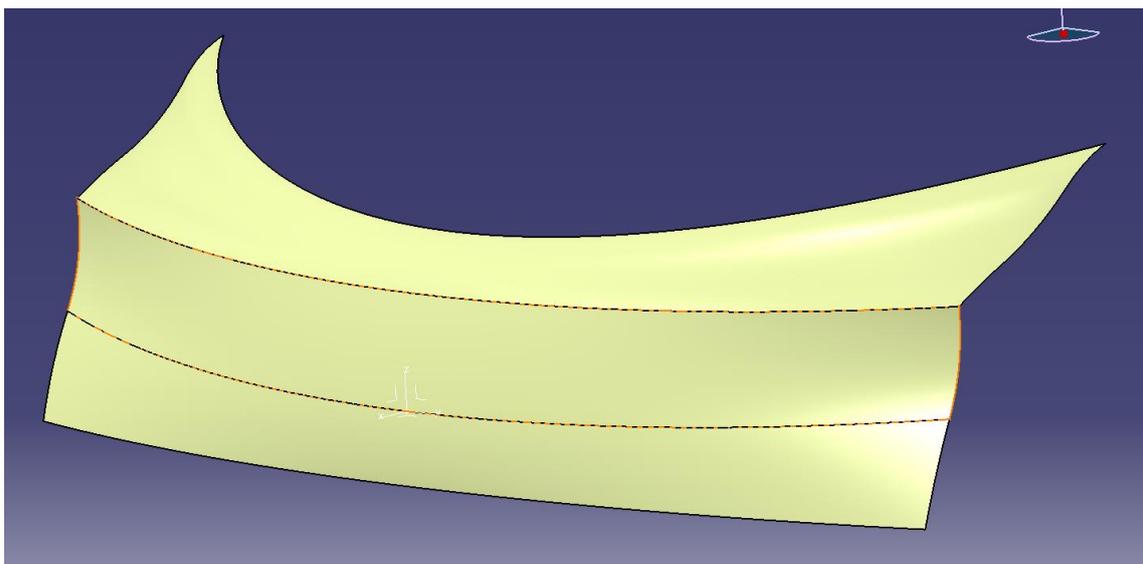
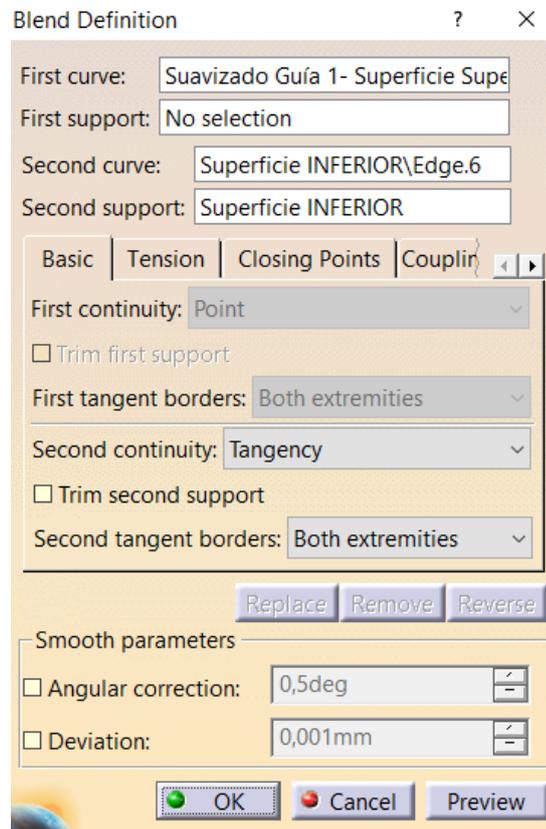


Los Arboles desarrollados de:
Las dos guías: por combinación como se ha dicho, simetría y el suavizado de la guía unida.
Los perfiles, que son el central y los dos laterales con sus respectivas simetrías.
El perfil 1 no hace falta suavizar porque es una curva simple.



- **SUPERFICIE MEDIA:**

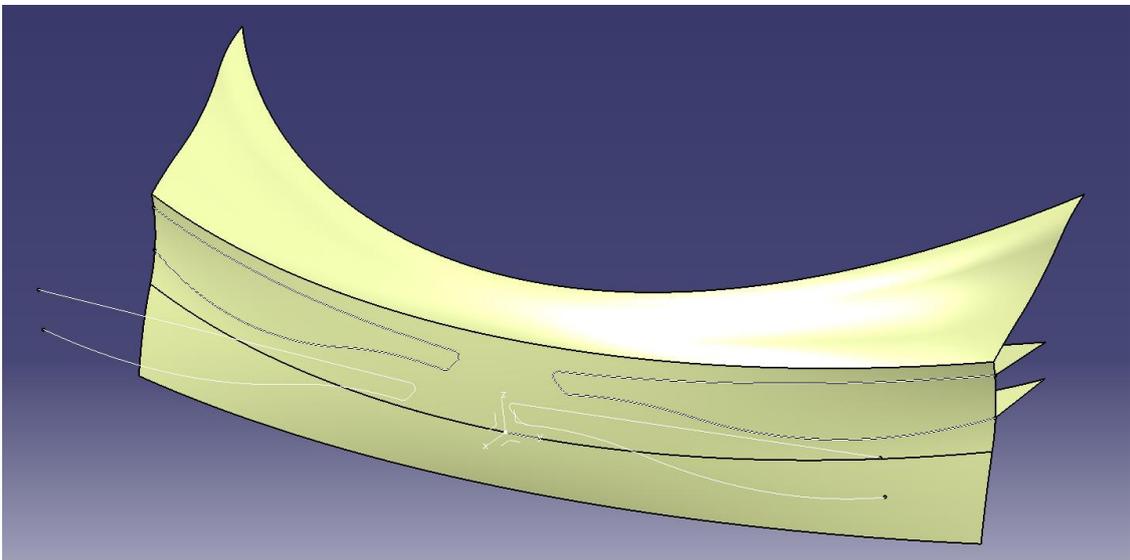
Para la tercera superficie de esta parte se opta por usar el comando “Blend” que consigue unir las dos superficies ya creadas. Este comando permite dar soporte a cada curva, con esto se consigue dar continuidad con la superficie que quieras, en este caso con la superficie inferior.

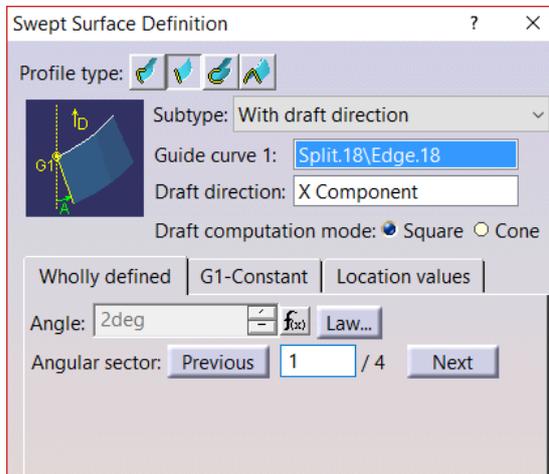
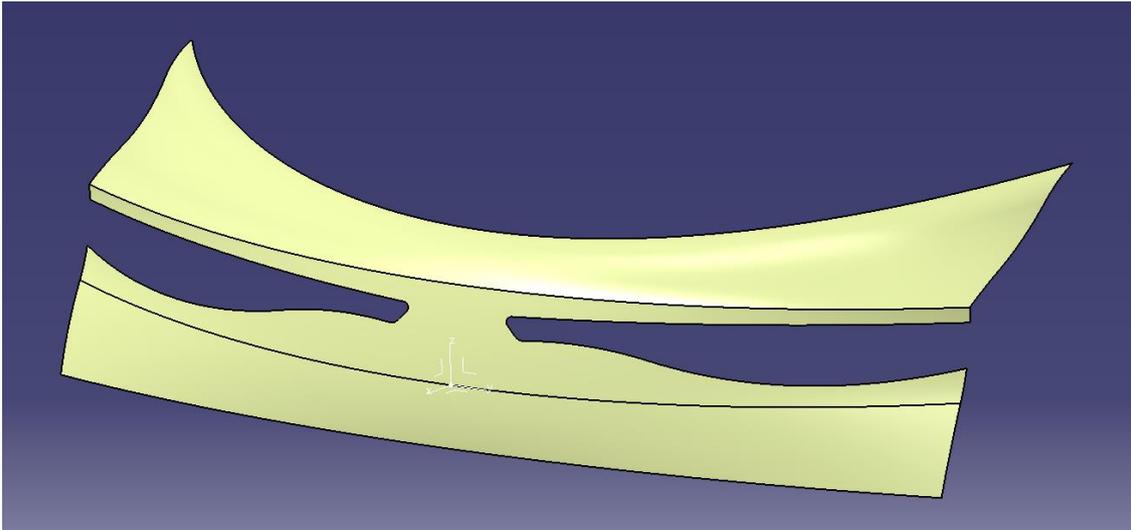


- **PILOTOS:**



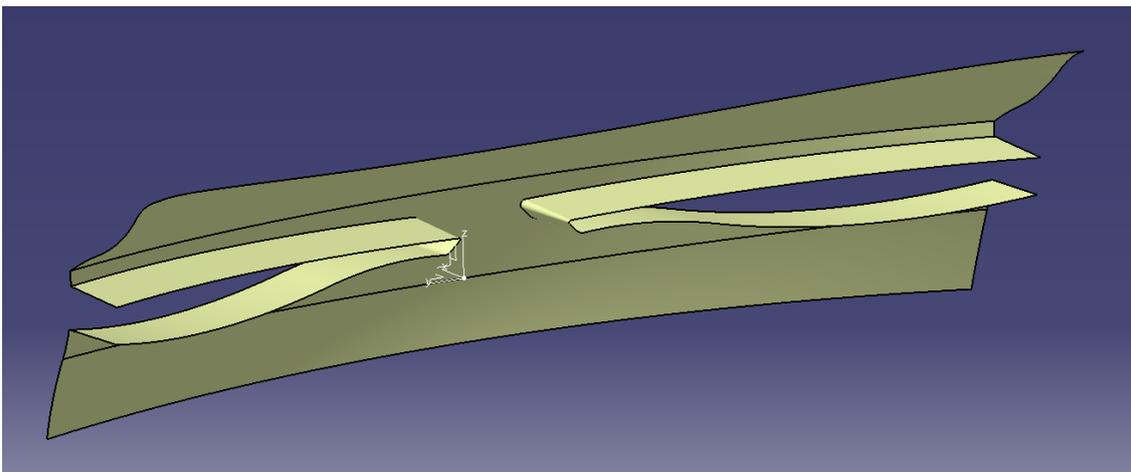
Los pilotos serán de grandes dimensiones en proporción con la pieza, ya que aparte de un elemento decorativo es un elemento de seguridad. Se crea el perfil en un plano auxiliar fuera de la pieza y luego se proyectan los perfiles. A continuación se corta la superficie proyectada con el comando "Split"





Para dar profundidad a los pilotos se usa el comando de barrido "Sweep" hasta un plano auxiliar, ya que luego será recortado el fondo con la geometría del foco.

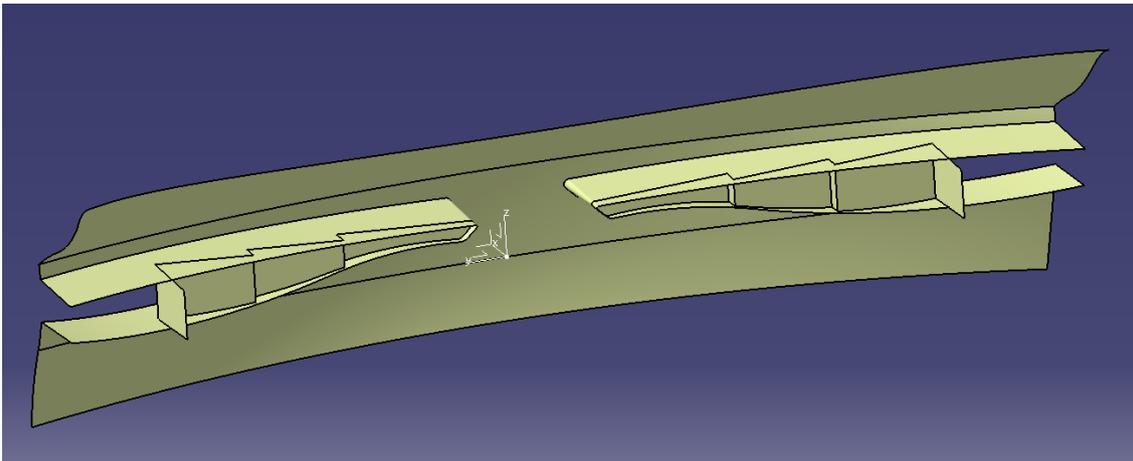
Se usa la opción de barrido en la dirección del eje x, y con un ángulo de desmoldeo de 2 grados.



- **FONDO PILOTOS:**

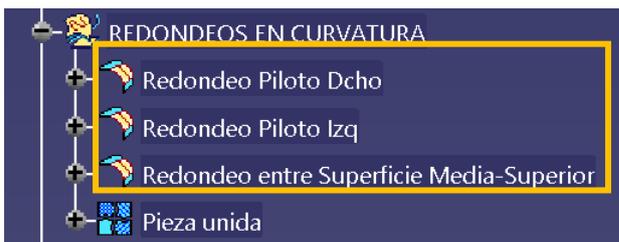


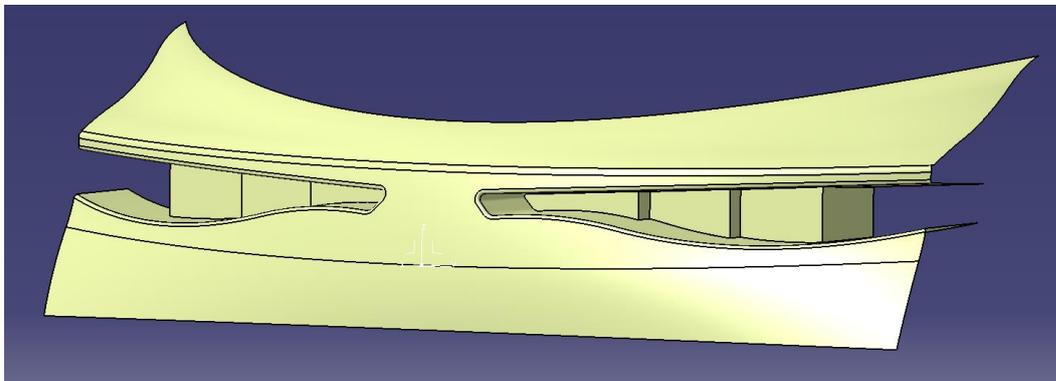
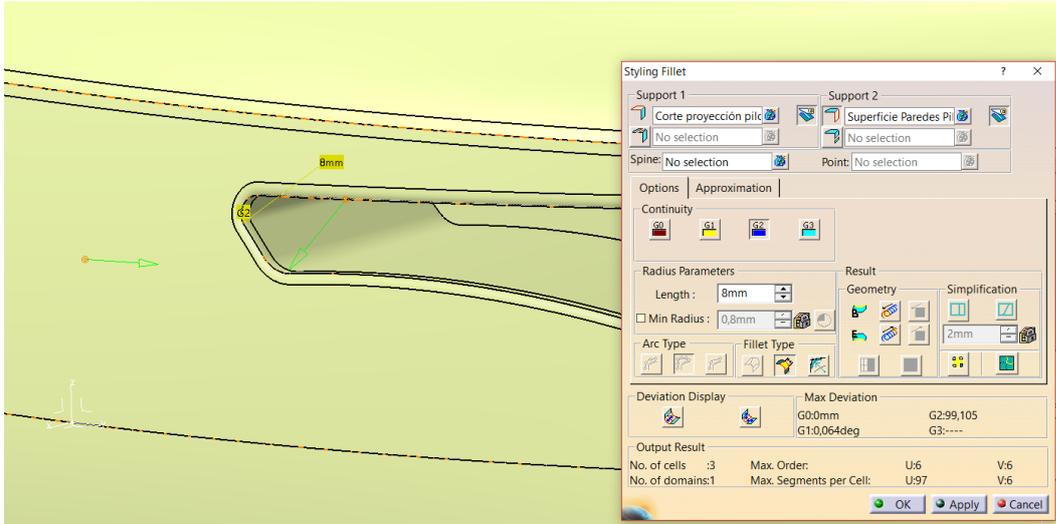
Las cavidades de los pilotos se deben cerrar por detrás con la forma del piloto, además se consigue así dar resistencia a esta zona de la pieza. Luego con comandos de sólidos se realizará las ventanas y agujeros por donde irán los conectores de los pilotos.



Redondeo del borde de los pilotos y redondeo del borde de la superficie superior y la superficie media:

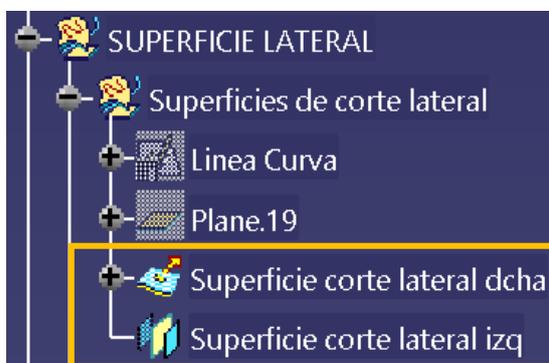
Para estos redondeos se usa el comando “Styling Fillet” que es mucho más completo que los comandos “shape fillet” o “edge fillet” y permite controlar el redondeo para dar continuidad no solo en tangencia sino también en curvatura (Continuidad G2).



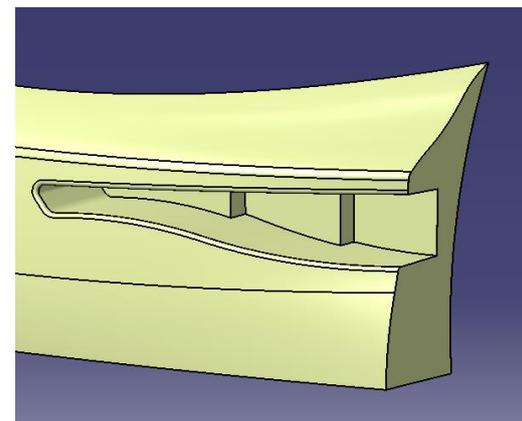
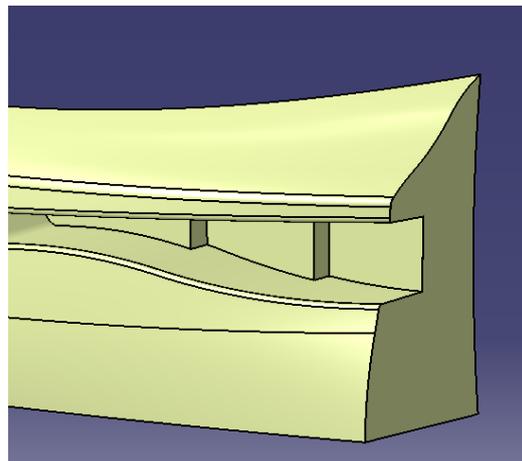
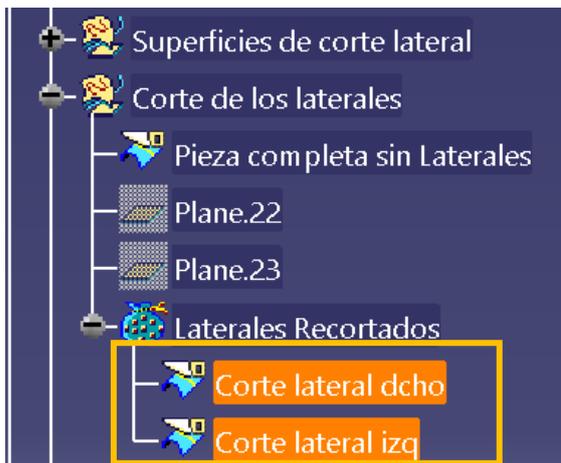
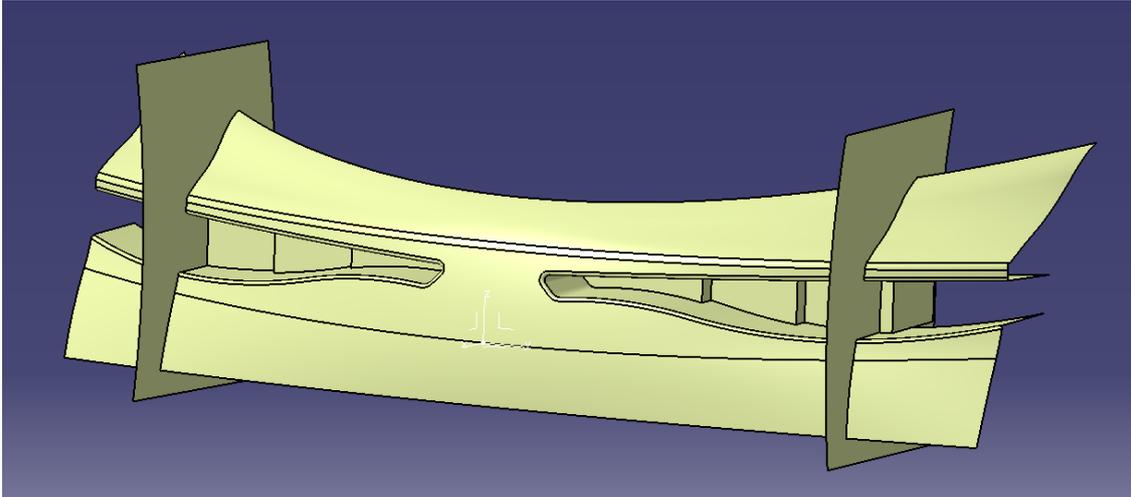


Una vez diseñadas las superficies de la cara vista, se realizan los laterales y la zona inferior llamada en el árbol zona base. Estas zonas con el portón cerrado no serán visibles, pero cuando se abre el maletero si quedan visibles, por lo que los acabados tienen que ser tan buenos como el resto de superficies.

- **SUPERFICIE LATERAL:**



Para crear los laterales se diseña unas superficies ligeramente curvadas que atraviesan la pieza, con las cuales se consigue dar la dimensión longitudinal final de la pieza y una superficie limpia en cuanto a vértices. El resto de superficies creadas con anterioridad se cortaran con estas superficies laterales.



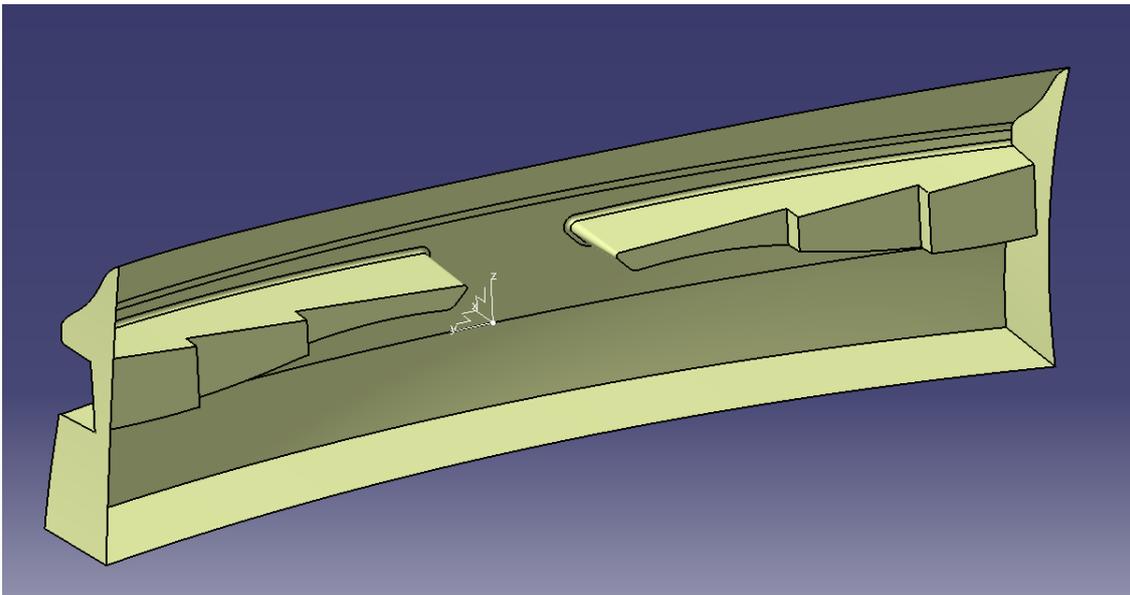
A la superficie resultante del corte se le da un segundo corte el cual estrechará el perfil lateral.

- **SUPERFICIE BASE:**

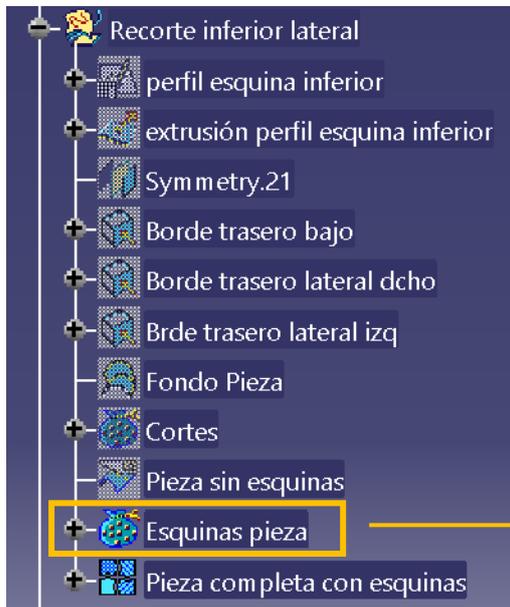


La superficie que falta es la inferior que hace de borde inferior de la pieza, la hemos llamado base, ya que es donde se apoyara la pieza desnuda, montada en vehículo será la que este en contacto con la parte superior del paragolpes trasero.

Se realiza extrayendo las aristas inferiores de las superficies laterales (secciones) y de la superficie inferior (guía), Con estas secciones y la guía se da uso del comando “Multi-sección” para realizar la superficie base.



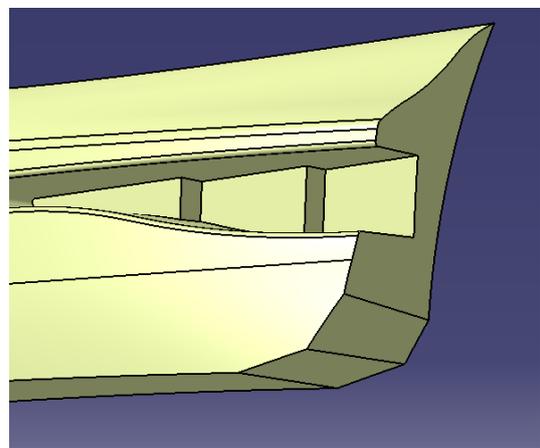
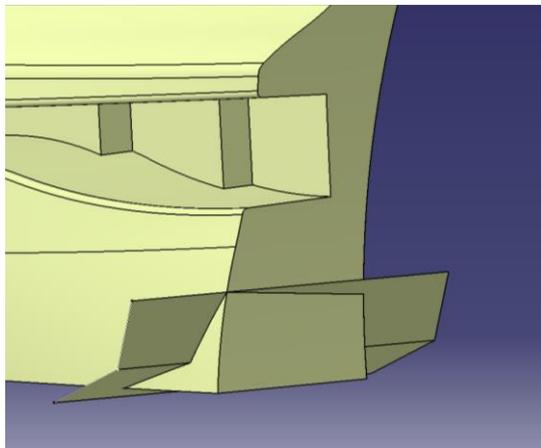
- **RECORTE INFERIOR LATERAL (ESQUINA):**



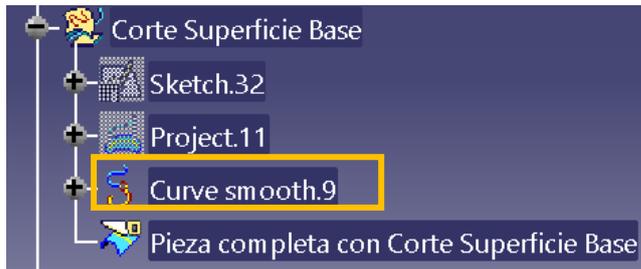
Para las esquinas inferiores se corta la pieza con una superficie en forma de V, que consigue suavizar la esquina a la vez que le da personalidad a la pieza.

Para esta operación se diseña primero la superficie y luego se realiza un corte a la pieza con las intersecciones creadas por la superficie.

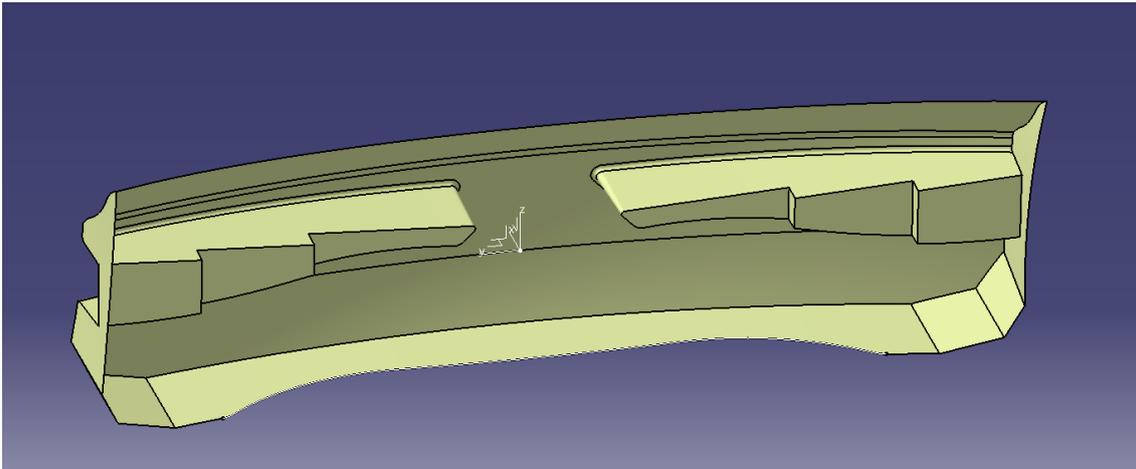
→ CONJUNTO DE CORTES



- **CORTE SUPERFICIE BASE:**



Se corta la base con el perfil que se ve en la imagen (después de suavizarlo) para que la pieza tengo mejor montabilidad y facilite el acceso al maletero del vehículo.

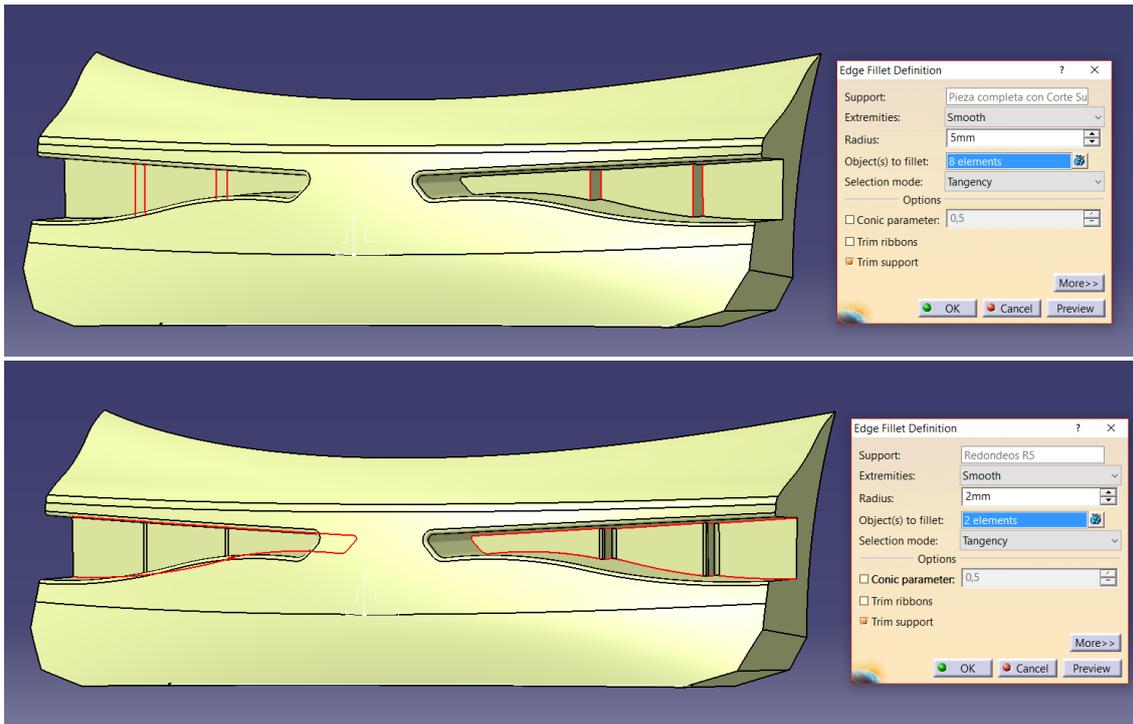


- **REDONDEOS:**

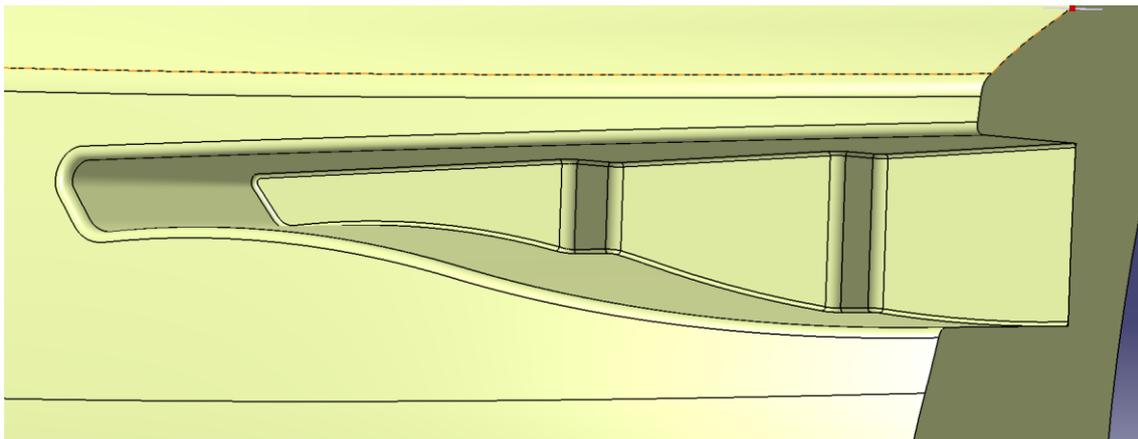
Redondeos internos Pilotos:



Con el comando Edge Fillet se seleccionan los vértices a redondear. Primero se realizan los verticales, y luego todo el borde interior. A 5mm y 3 mm respectivamente.



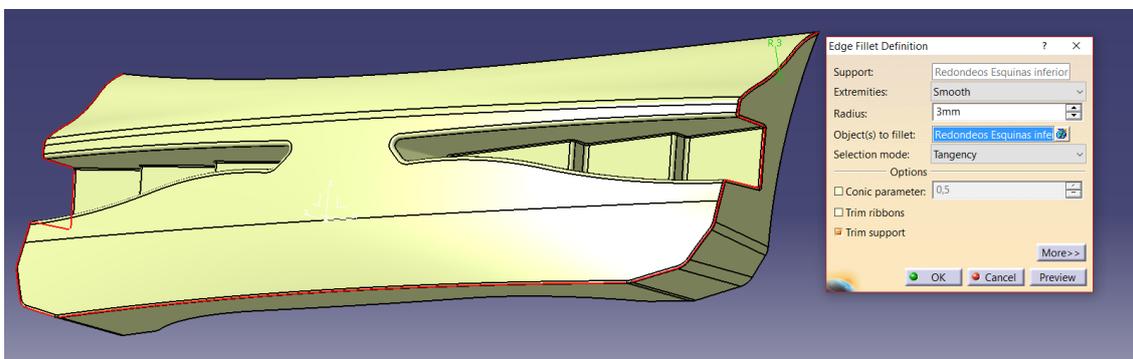
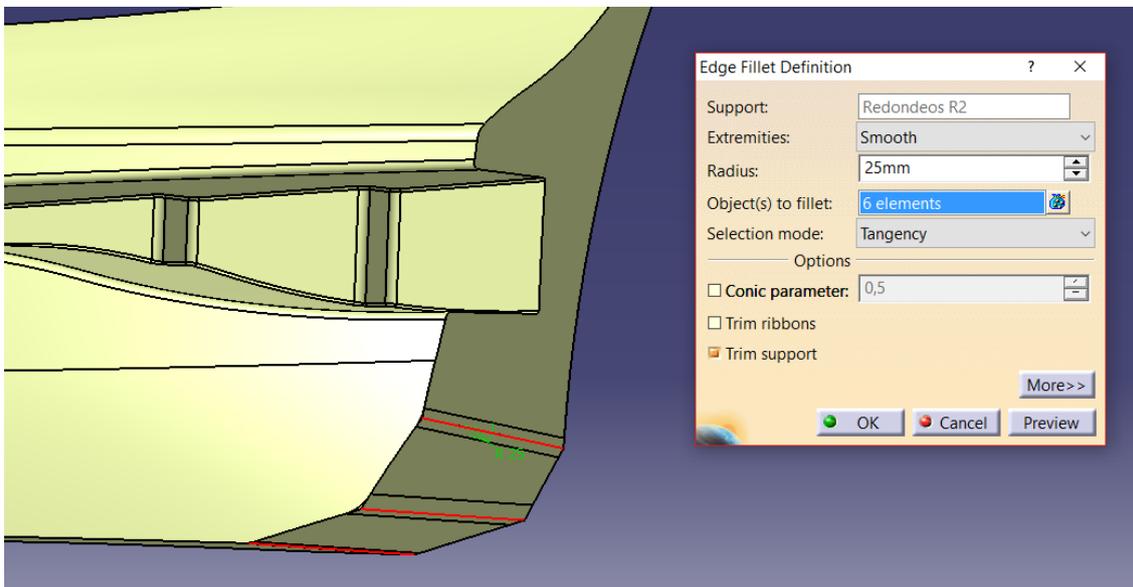
Acabado final de los redondeos de los pilotos:



Redondeos externos:



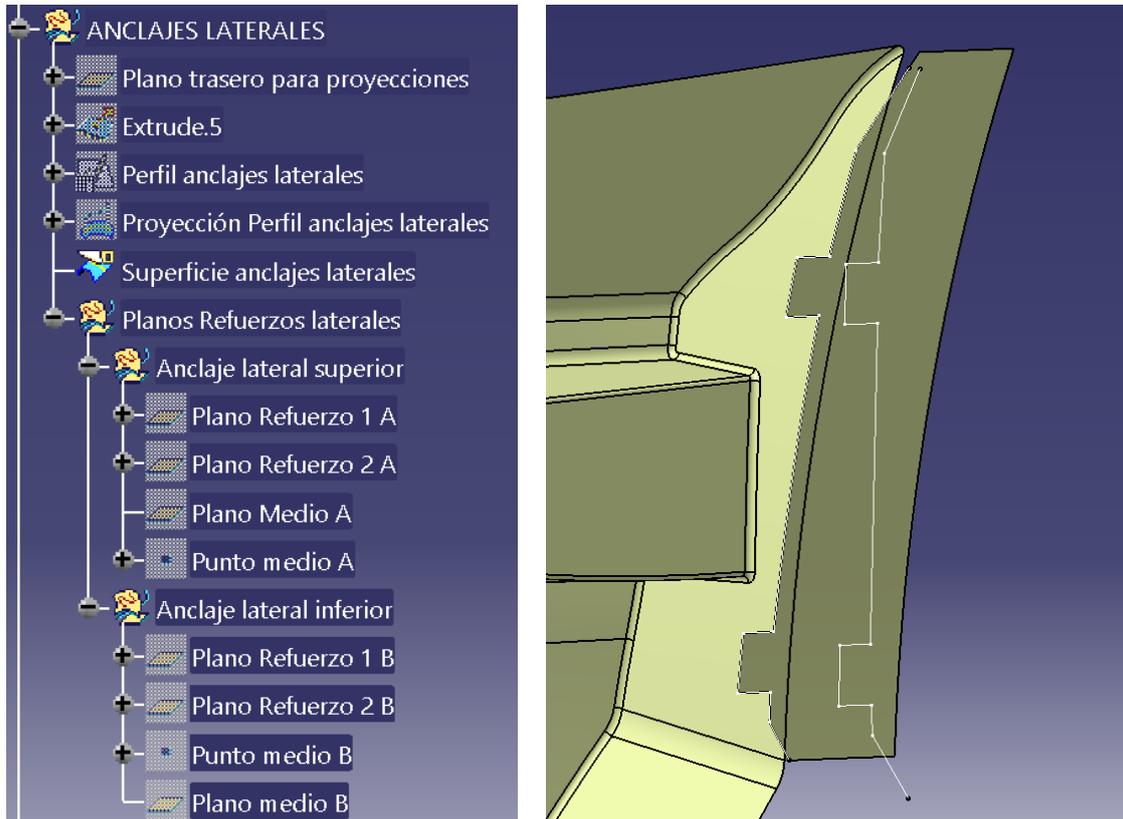
No se pueden dejar aristas vivas en toda la superficie cara vista, porque no se conseguiría un buen acabado de la pintura y sería una zona crítica se posibles defectos. Por lo que se redondea primero las esquinas creadas con anterioridad (Foto) y a continuación todo el borde de las superficies de la cara vista (Foto)



El borde superior no se redondea porque lleva encima soldado la luneta trasera.

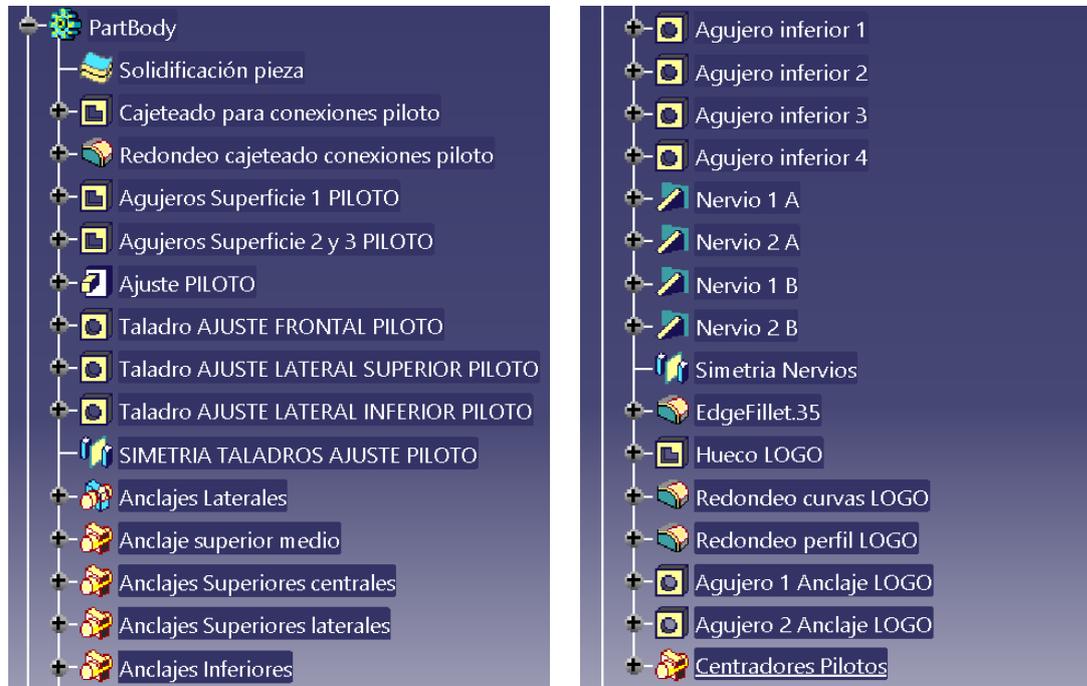
- **ANCLAJES LATERALES:**

Por último para los anclajes laterales se diseña una superficie por la extrusión del borde interno de un lateral que será recortada por la proyección de un perfil sobre dicha superficie. Esta operación no se puede hacer solo con sólidos porque la pared lateral es curva y con un cierto ángulo.



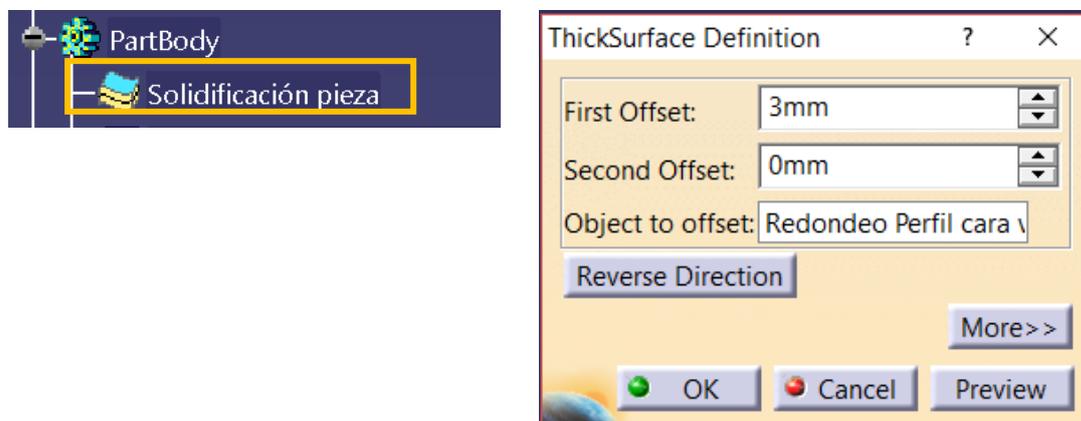
4.5.2. Sólidos.

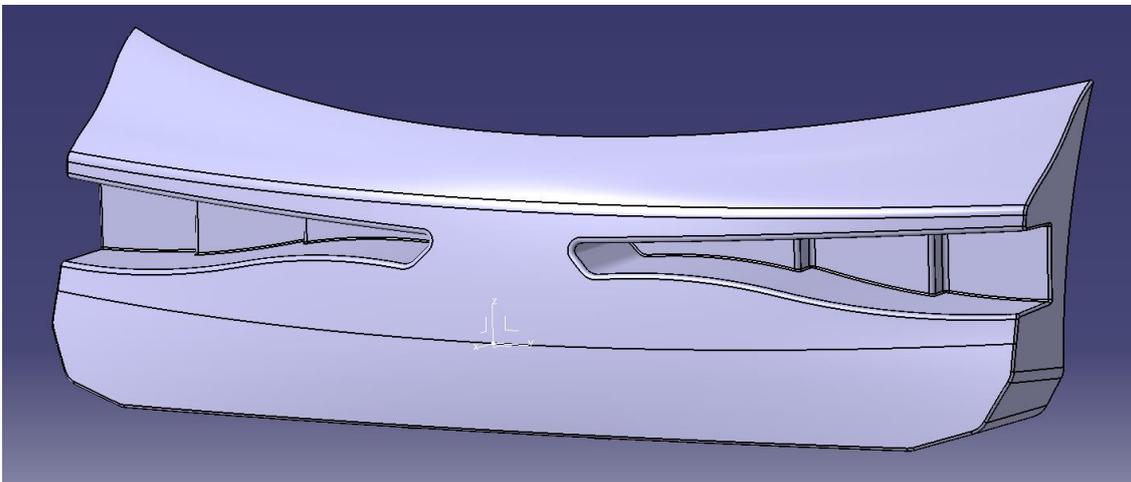
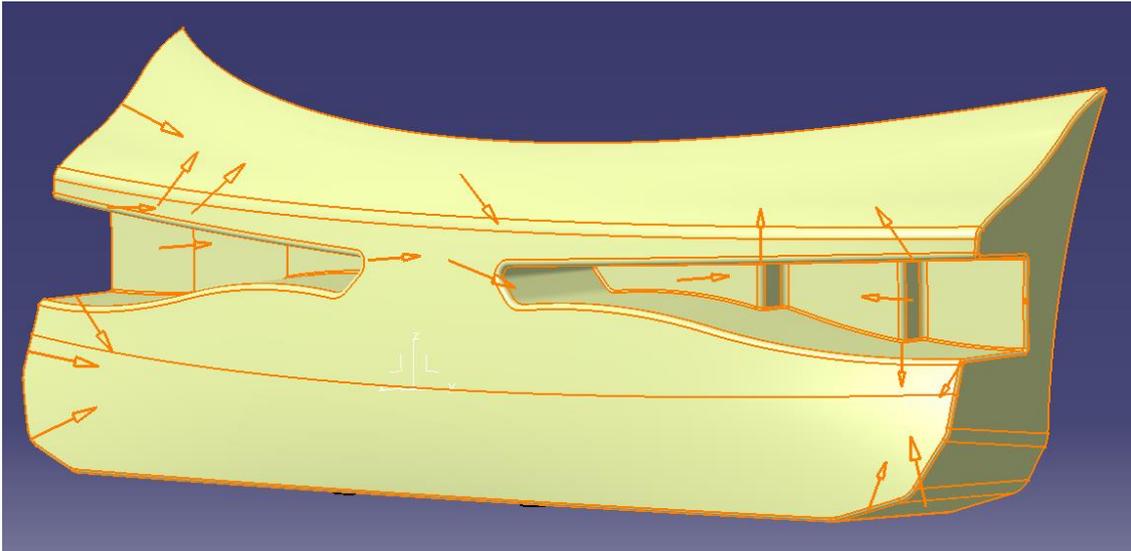
A partir de aquí se realizarán todas operaciones con sólidos: “Part Design”
Algunas operaciones se realizan en PartBodys separados y luego se ensamblan con el body principal con Operaciones Booleanas de Suma o Resta, quedando el PartBody así:



- **Solidificación pieza:**

La primera operación es solidificar toda la pieza unida que se ha creado en Superficies, es decir dar un cierto espesor. Esto se realiza con el comando “ThickSurface” con 3 mm de espesor.



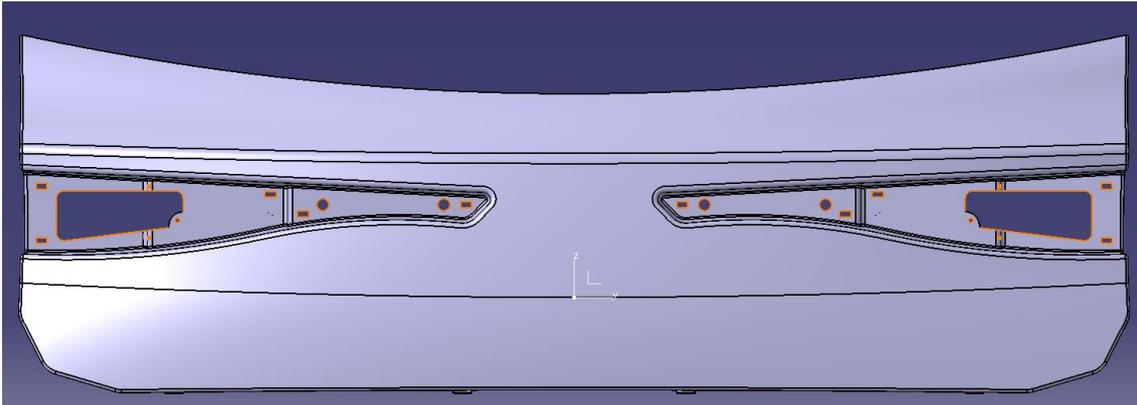


• **ANCLAJE Y CONEXIONES PILOTOS:**

- Cajeteado para conexiones piloto
- Redondeo cajeteado conexiones piloto
- Agujeros Superficie 1 PILOTO
- Agujeros Superficie 2 y 3 PILOTO
- Ajuste PILOTO
- Taladro AJUSTE FRONTAL PILOTO
- Taladro AJUSTE LATERAL SUPERIOR PILOTO
- Taladro AJUSTE LATERAL INFERIOR PILOTO
- SIMETRÍA TALADROS AJUSTE PILOTO

A continuación se realiza el cajeteado por donde irán las conexiones principales de los pilotos, los agujeros para anclar los pilotos y salidas del resto de conexiones.

Estas operaciones se realizan dibujando los perfiles de las ventas y hacer vaciado (pocket).



- **ANCLAJE LATERAL:**

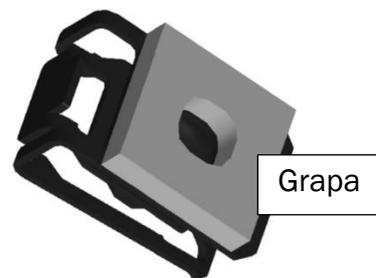
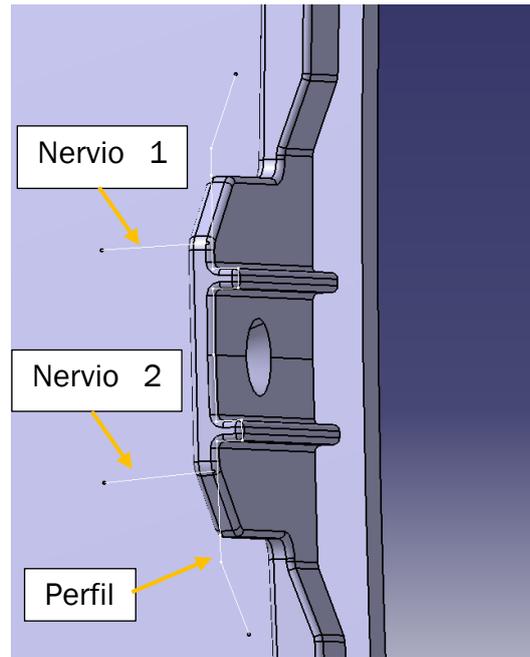
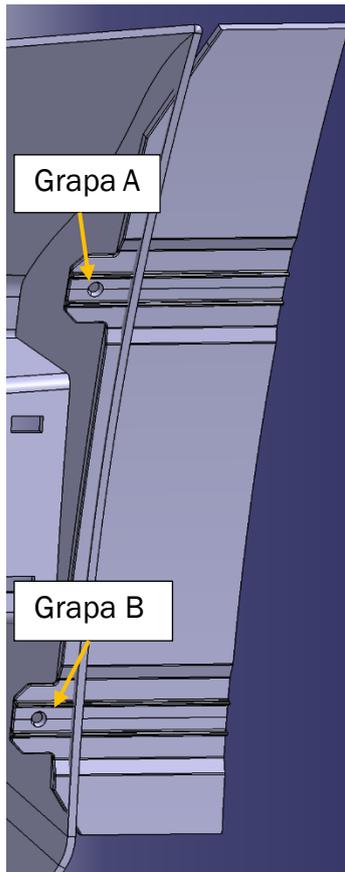


Anclajes laterales: se utilizan para ajustar los laterales de la pieza y que quede perfectamente alineada con el resto de la carrocería en estos laterales.

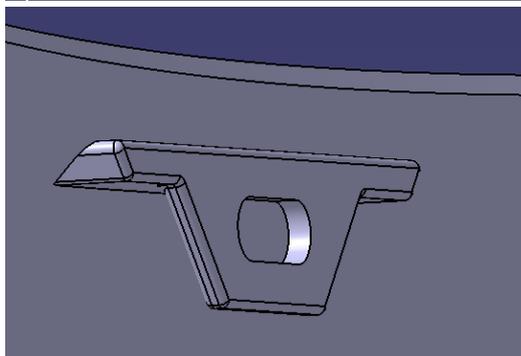
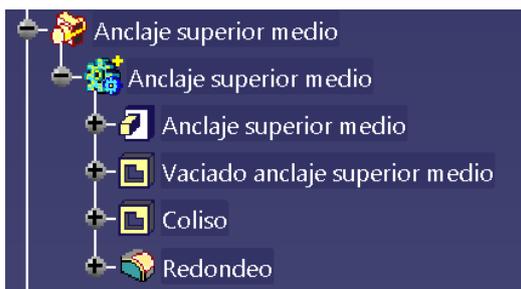
Como se ha comentado antes, los anclajes laterales se realizan primero con superficies, luego se solidifica la superficie y se diseña un perfil lateral para realizar los railes donde ira una grapa para montar la pieza.

También se dibuja unos skecher para realizar unos nervios de refuerzo de las pletinas donde van las grapas.

Cuando tengamos los anclajes laterales completos, con operaciones booleanas y el comando de resta "remove".



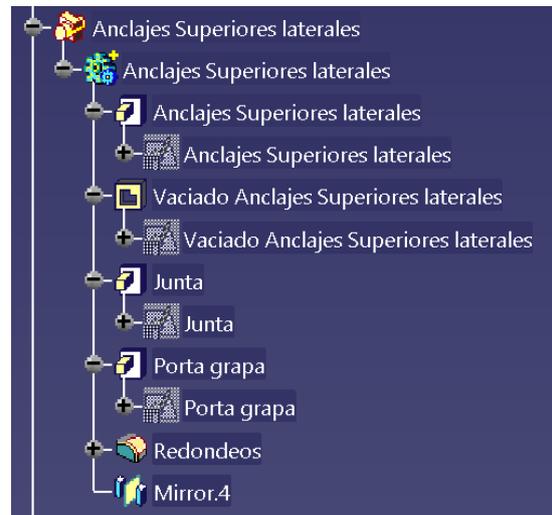
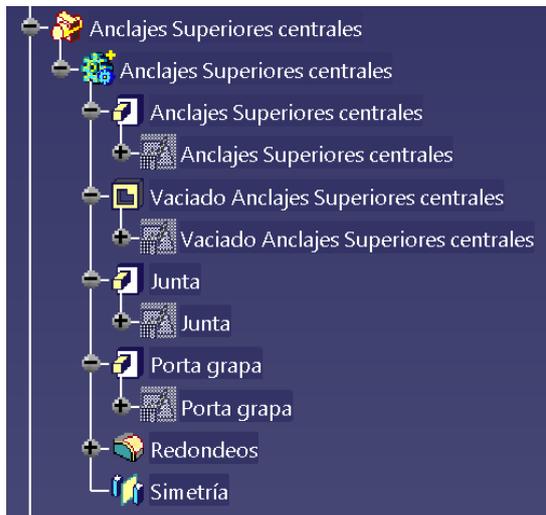
- **ANCLAJE SUPERIOR MEDIO:**



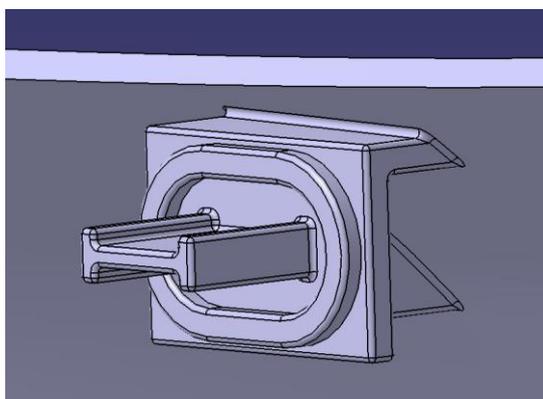
Anclaje central superior, facilitará la montabilidad de la pieza y la unión del portón con la pieza que soporta la luneta trasera y a su vez con la estructura del vehículo, se realiza un “pad” y después un vaciado para que quede el anclaje al aire, solo unido por la parte superior.

El coliso al igual que el vaciado se realiza con una operación de “Pocket” (Hueco)

- **ANCLAJES SUPERIORES:**

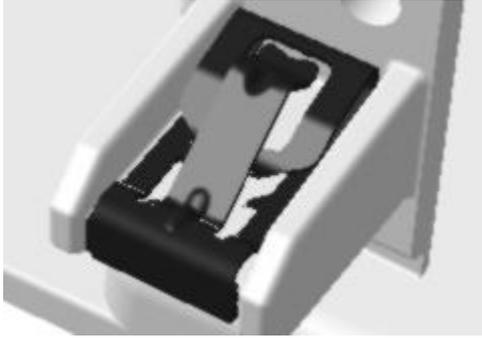


Estos cuatro anclajes sirven para fijar la pieza al vehículo por la parte superior. Todos ellos tienen un saliente, llamado porta-grapa en el que se coloca una grapa y al montar el portón por presión en vertical quedará fijado con el vehículo. Para facilitar el clisado de todas las grapas se coloca unos centradores en la zona trasera de los pilotos que nos ayuda a que la pieza se monte totalmente recta.



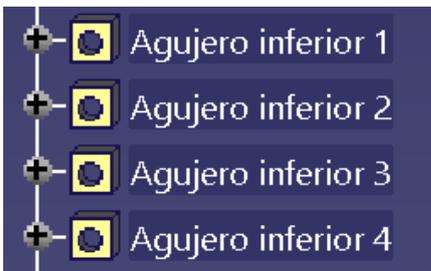
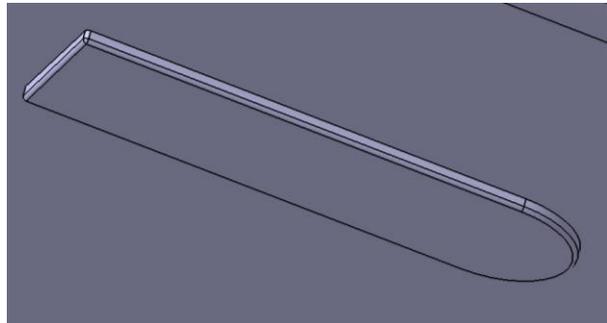
La unión del anclaje con la pieza es por dos lados para que garantice la sujeción y resistencia del anclaje pero que a su vez no provoque defectos en la cara vista de la pieza.

En la junta creada por inyección se colocará una junta de goma para un mejor ajuste de la pieza.

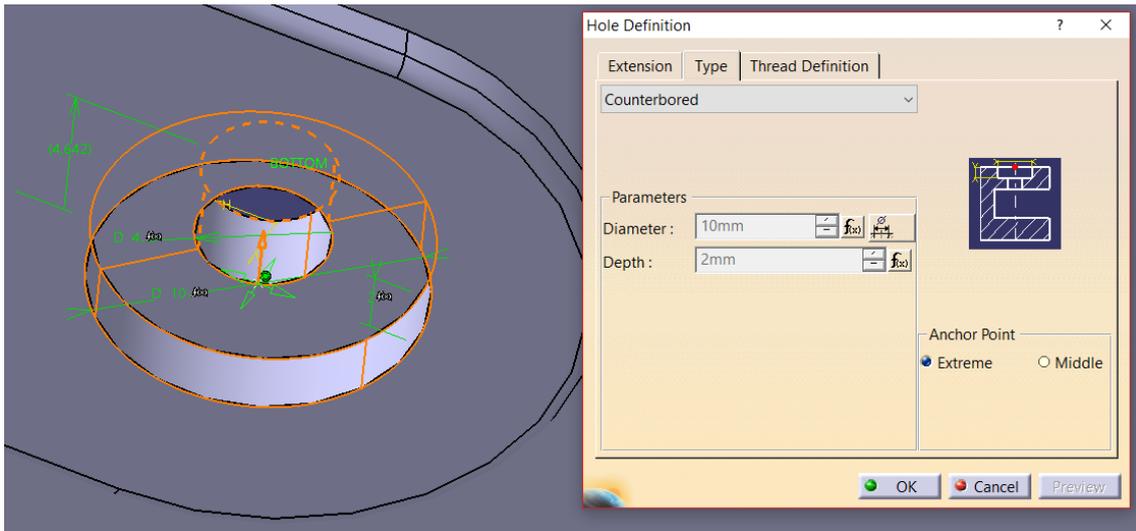


Tipo de grapa comercial usada para los anclajes superiores.

- **ANCLAJES INFERIORES:**

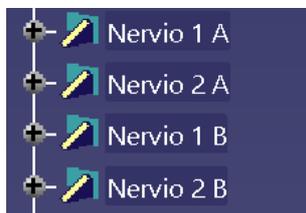


Después de realizar estos “pad” se taladran con el comando “Hole” de tipo Counterbored que crea una endidura donde irá alojado nuestro tornillo y así no rayara el paragolpes trasero que tiene estas formas de los anclajes inferiores de forma inversa.



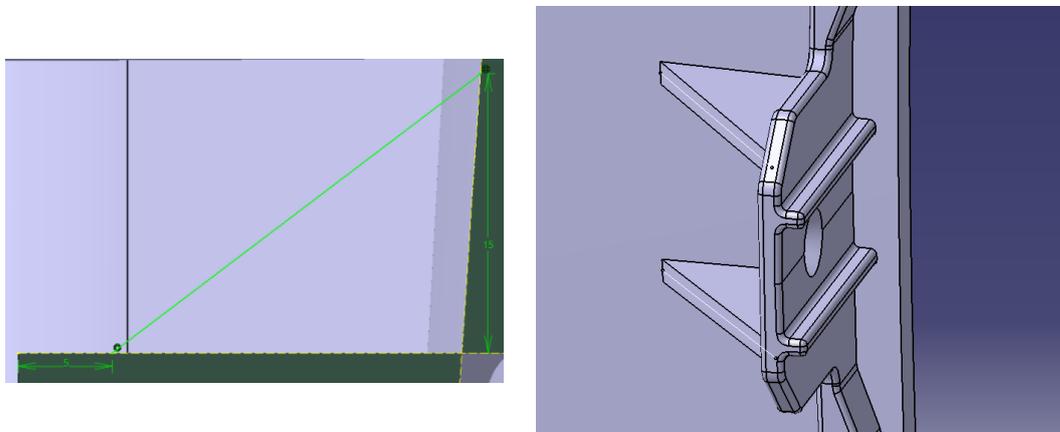
Las cotas con la f(x) significa que están referenciados a otros valores, que son los otros agujeros de los anclajes inferiores, así modificando uno se modificarán los 4. Estos agujeros en piezas plásticas no van con rosca porque la rosca se pasaría con mucha facilidad, por lo que se usan otros sistemas de sujeción como los mostrados anteriormente, o agustes de tornillo-contratuerca-tuerca.

- **NERVIOS:**



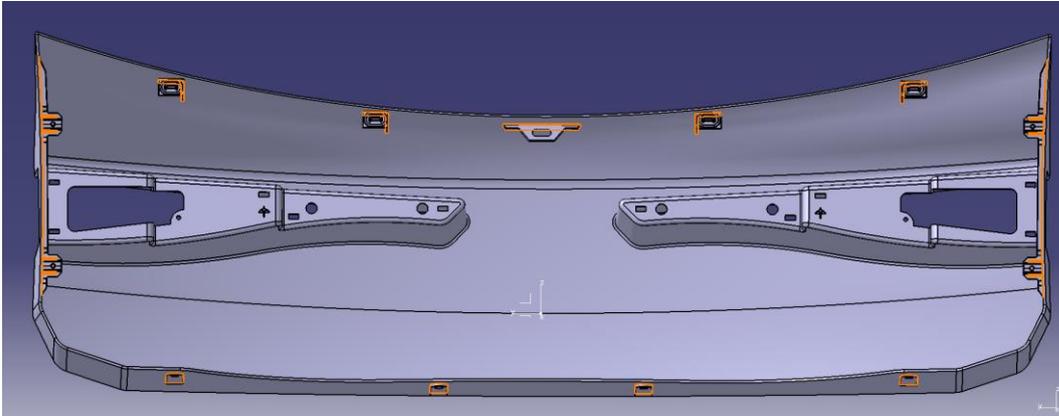
En los anclajes laterales se coloca unos nervios por la parte interna que le darán resistencia para el montaje de la pieza, para las vibraciones del vehículo y para pequeños golpes que pueda sufrir la pieza una vez montada.

El sketch, que se encuentra en el “geometrical set” de Anclajes Laterales corresponde a una línea unida a las proyecciones de las superficies con las que tiene que cortar el nervio sobre nuestro plano.

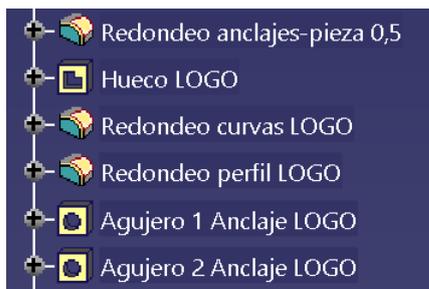


- **REDONDEOS SOLIDO:**

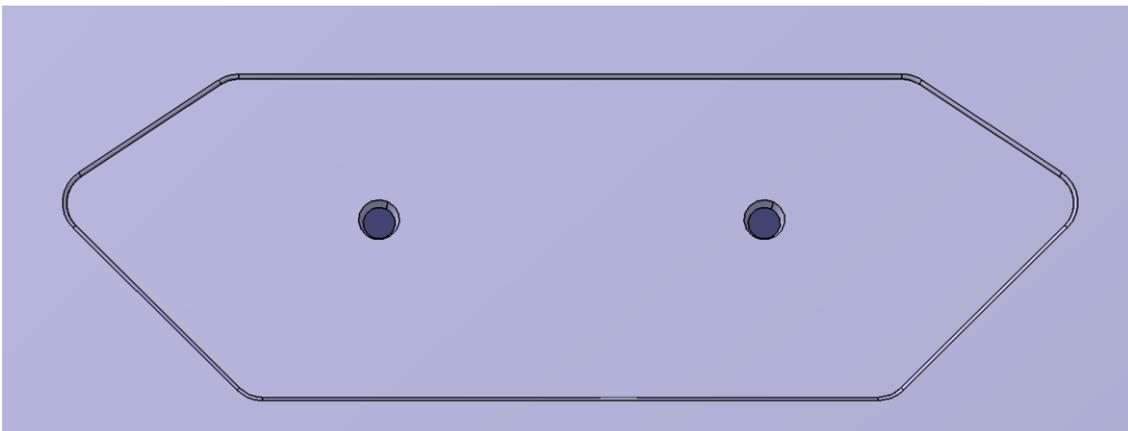
Despues se redondea los nervios y todos las uniones entre los anclajes y la pieza, ya que si fueran todas aristas vivas el desmoldeo sería mucho mas complicado.



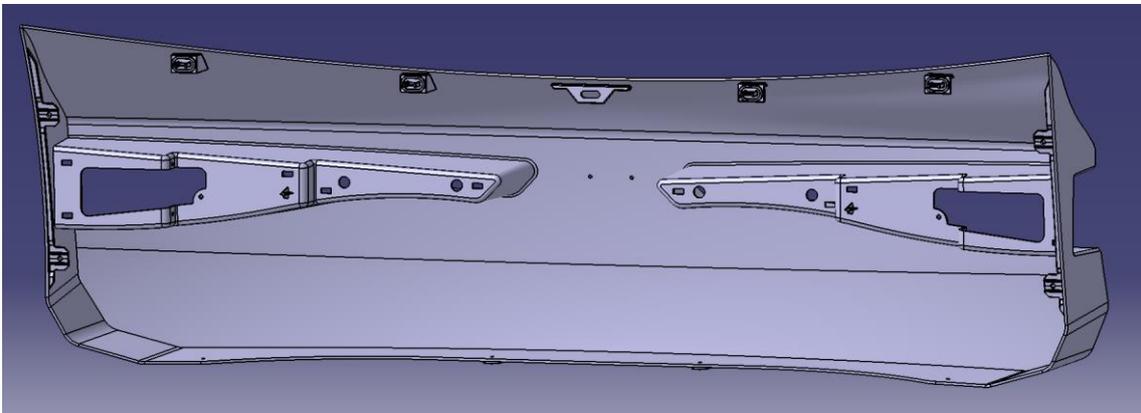
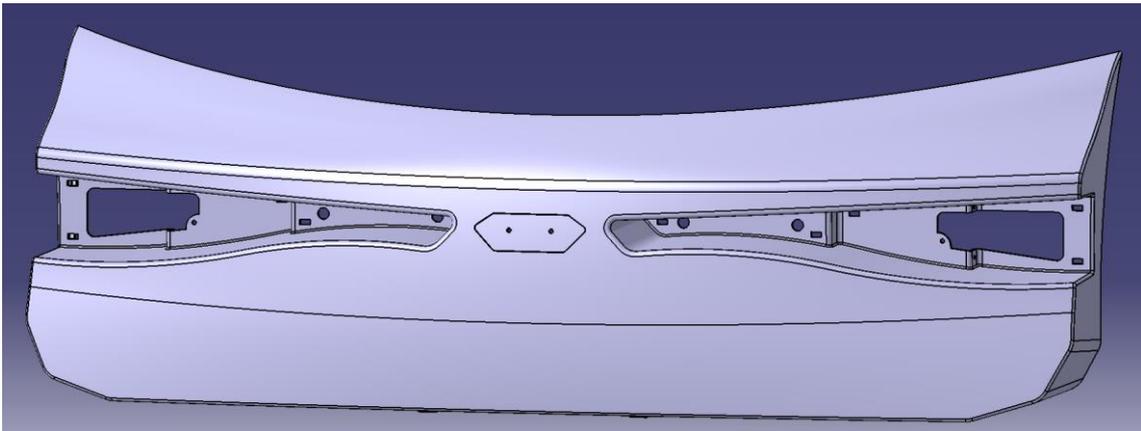
- **LOGO:**



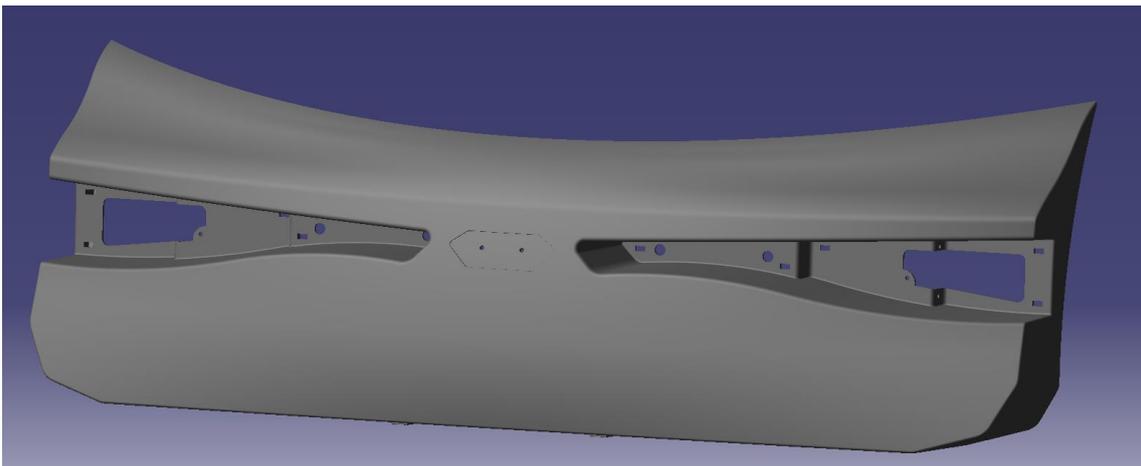
Se crea el hueco para el logo con un cajeadado de poca profundidad, se utiliza para la fácil colocación del logo y que este siempre centrado



- **RESULTADO FINAL DE LA PIEZA:**



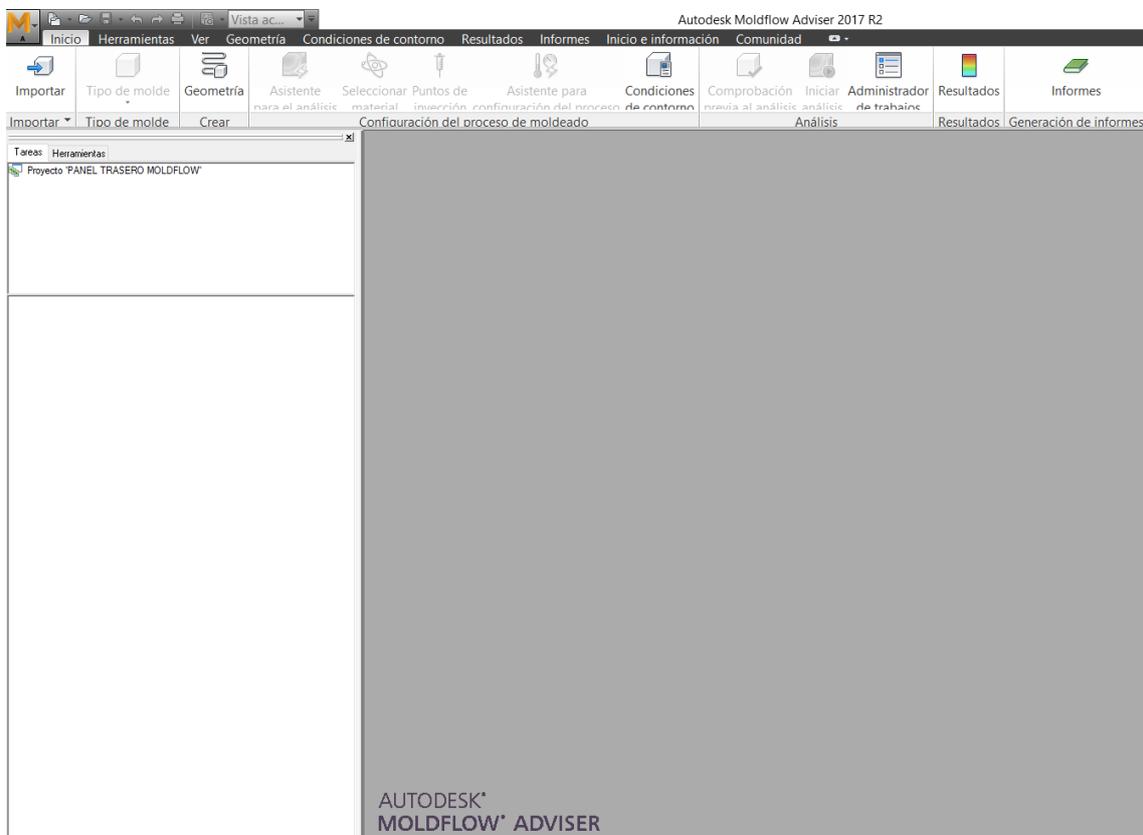
Si se selecciona un material plástico:



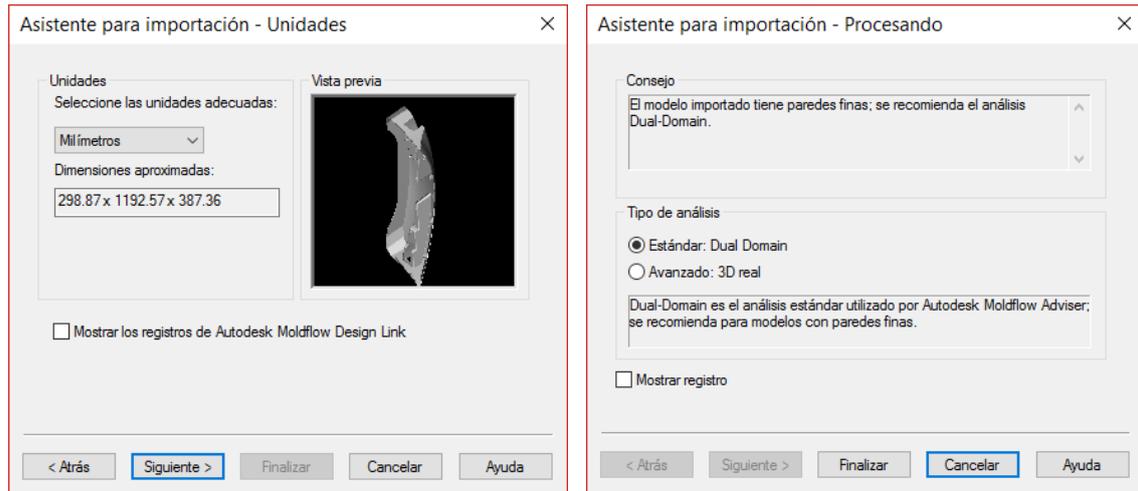
5. Análisis y cálculos

5.1. Estudio Reológico con “Moldflow”.

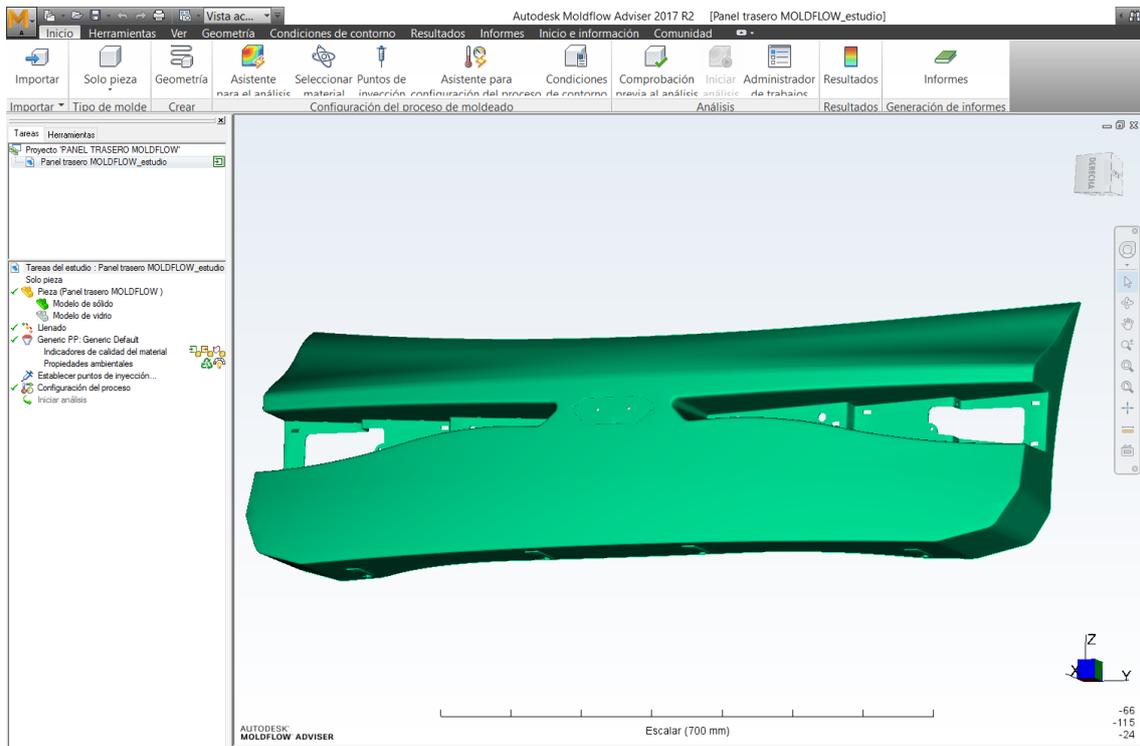
Se abre el Programa Autodesk MoldFlow Adviser 2017 y se importa la pieza que se quiera analizar, en este caso el archivo diseñado con “Catia V5” en el apartado “Modelado de la pieza” de este mismo documento. Es decir, permite importar un “CATIA Part” directamente.



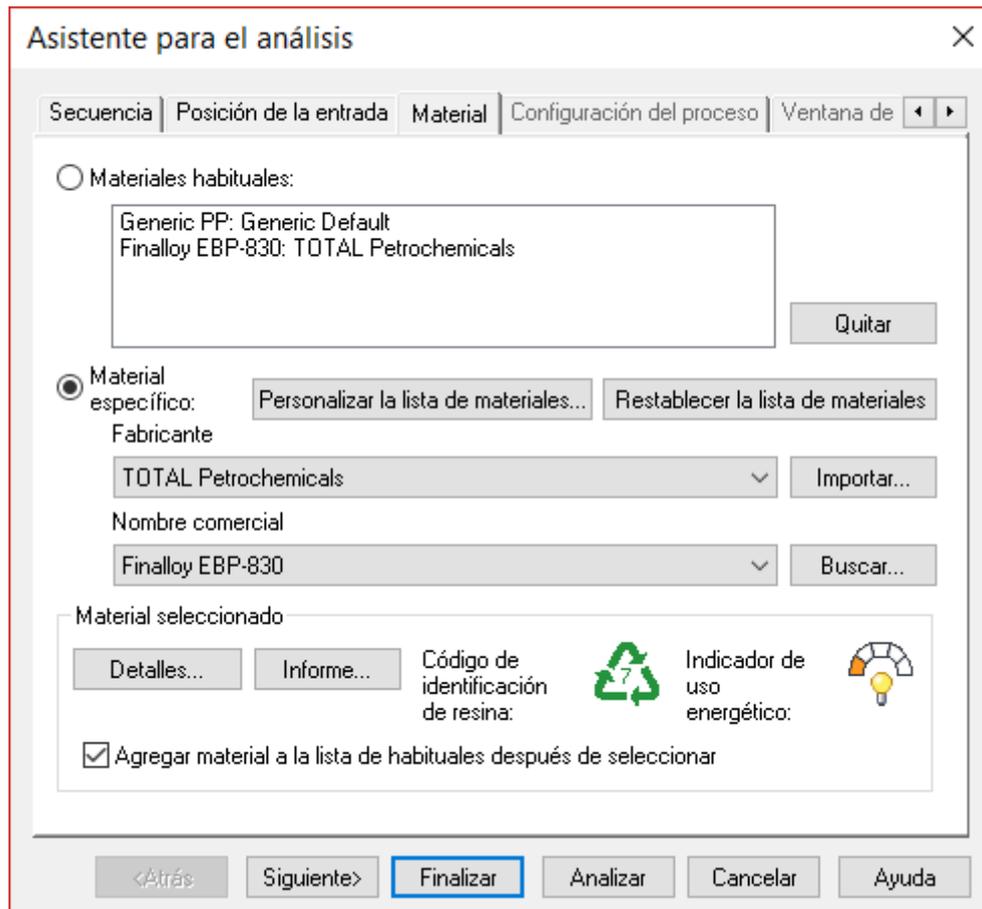
Gonzalo Alonso Alonso
INYECCIÓN Y DISEÑO DE UNA PIEZA PLÁSTICA



Se sigue el proceso de “Asistencia para importación” y se tendrá la pieza importada dentro de la interfaz del programa Moldflow:



Se debe seleccionar el material con el que se va a inyectar la pieza. Como ya se ha comentado con anterioridad, el material usado será: TOTAL EBP 830 (con un 30% de talco como aditivos). Los Anexos 2 y 3 son las fichas técnicas del fabricante.

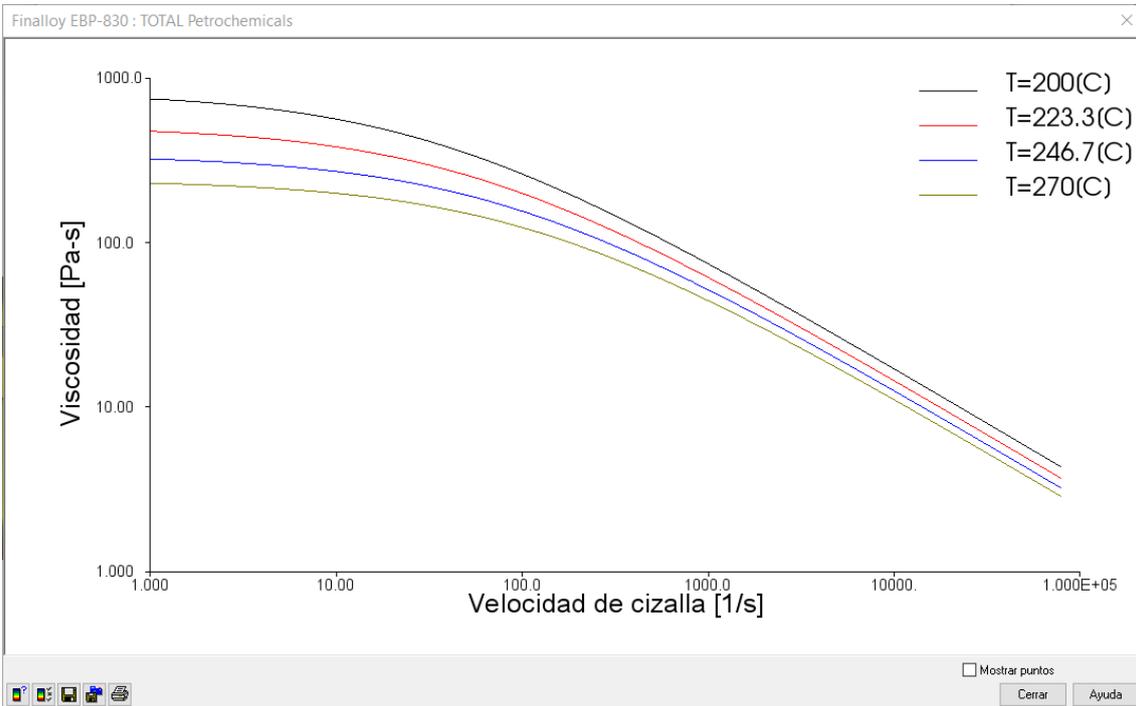


El propio programa muestra las propiedades de cada material:
 Procesamiento Recomendado:

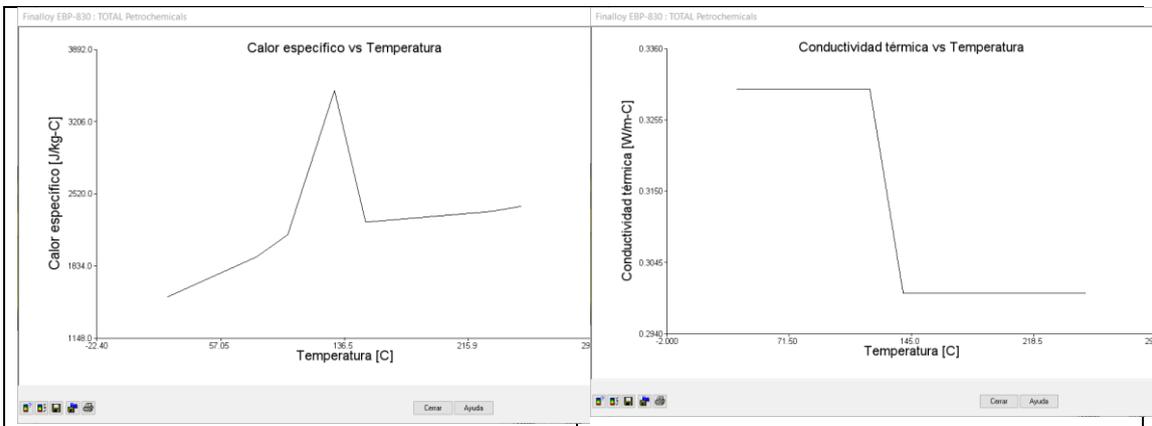
Propiedades de contracción		Carga/fibra		Impacto medioambiental		Indicadores de calidad	
Descripción	Procesamiento recomendado	Propiedades reológicas		Propiedades térmicas		Propiedades mecánicas	
Temperatura de la superficie del molde	35		C				
Temperatura de masa fundida	235		C				
Intervalo de temperaturas del molde (recomendado)							
Mínimo	15		C				
Máximo	70		C				
Intervalo de temperaturas de masa fundida (recomendado)							
Mínimo	200		C				
Máximo	270		C				
Temperatura absoluta máxima de masa fundida	280		C				
Temperatura de expulsión	110		C				
		Ver información del ensayo para temperatura de expulsión...					
Esfuerzo de cizalla máximo	0.25		MPa				
Velocidad de cizalla máxima	100000		1/s				

Propiedades reológicas:

Descripción	Procesamiento recomendado	Propiedades reológicas
Viscosidad		
Modelo de viscosidad predeterminado	Cross-WLF	Ver coeficientes de
Resultados gráficos de		
Coeficientes del método de pérdida de presión		
c1	0.02992	Pa ^{1-c2}
c2	1.5	
Temperatura de transición	127	C
Índice de viscosidad Moldflow	VI(240)0054	
Índice de fluidez (MFR)		
Temperatura	230	C
Cargar	2.16	Kg
MFR medida	17	g/10min

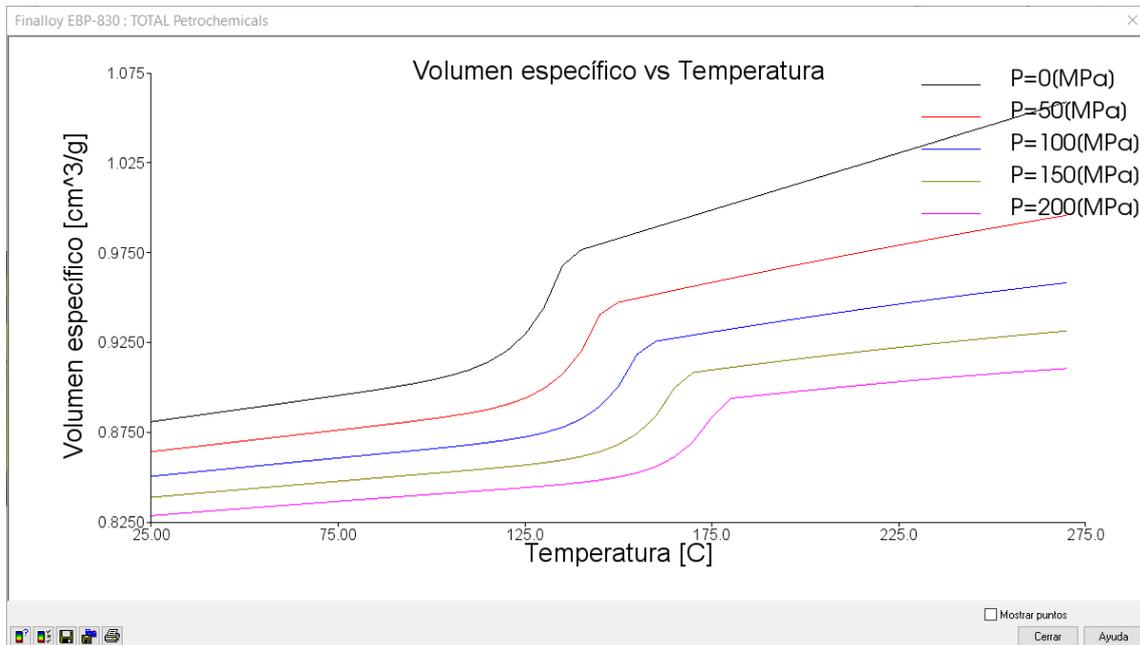


Propiedades térmicas:



Propiedades pvT:

Densidad de masa fundida	0.96454	g/cm ³
Densidad de sólido	1.1353	g/cm ³
Coeficientes de modelos pvT Tait modificados de 2 dominio		
b5	409.15	K
b6	2.005e-07	K/Pa
b1m	0.000974	m ³ /kg
b2m	6.34e-07	m ³ /kg-K
b3m	1.08103e+08	Pa
b4m	0.005363	1/K
b1s	0.000913	m ³ /kg
b2s	2.902e-07	m ³ /kg-K
b3s	1.55645e+08	Pa
b4s	0.002785	1/K
b7	6.096e-05	m ³ /kg
b8	0.103	1/K
b9	2.32e-08	1/Pa



Las gráficas pvT son de gran utilidad para la representación del proceso de inyección, ya que se necesita conocer el volumen que ocupa el material que se está transformando a lo largo del proceso bajo unas ciertas condiciones de temperatura y presión que irán evolucionando.

Propiedades mecánicas:

Gonzalo Alonso Alonso
INYECCIÓN Y DISEÑO DE UNA PIEZA PLÁSTICA

Datos de las propiedades mecánicas		
Módulo elástico, 1ª dirección principal (E1)	3200	MPa
Módulo elástico, 2ª dirección principal (E2)	2850	MPa
Coefficiente de Poisson (ν12)	0.4	
Coefficiente de Poisson (ν23)	0.4	
Módulo de corte (G12)	1143	MPa

Datos del coeficiente isotrópico transversal de expansión térmica (CTE)		
Alpha1	2.5e-05	1/C
Alpha2	3.5e-05	1/C

Moldflow permite realizar el análisis de varios factores de la inyección, en el presente estudio se analiza primero el Llenado, la calidad de refrigeración y los rechupes para posteriormente analizar la compactación y las deformaciones en la pieza.

Asistente para el análisis

Secuencia | Posición de la entrada | Material | Configuración del proceso | Ventana de

Seleccione la secuencia de análisis:

- Consultor de diseño
- Posición de la entrada
- Ventana de proceso
- Llenado
- Calidad de refrigeración
- Rechupe
- Consultor de canales

Información del análisis:

Compruebe si su pieza se puede moldear con una calidad aceptable.

Después de que se haya terminado el análisis, podrá examinar la confianza de llenado y los resultados de la predicción de calidad, así como el tiempo de llenado, la presión de inyección, la pérdida de presión y los resultados de la temperatura en el frente de flujo.

<Atrás | Siguiente> | Finalizar | Analizar | Cancelar | Ayuda

Asistente para el análisis

Secuencia | Posición de la entrada | Material | Configuración del proceso | Ventana de

Seleccione la secuencia de análisis:

- Calidad de refrigeración
- Rechupe
- Consultor de canales
- Equilibrado de canales
- Refrigeración
- Llenado+compactación
- Deformación

Información del análisis:

El análisis de llenado+compactación es un módulo de Autodesk Moldflow Adviser Ultimate.

El análisis de llenado+compactación proporciona resultados relativos a la fase de llenado y compactación.

<Atrás | Siguiente> | Finalizar | Analizar | Cancelar | Ayuda

Se escriben los valores reales con los que se contará para la inyección. Estos valores son los recomendados por el fabricante del material aunque cuando se inyecte de forma real habrá que hacer pequeños ajustes.

Asistente para el análisis

Secuencia | Posición de la entrada | Material | Configuración del proceso | Ventana de

Propiedades del material

Temperatura del molde [15.00:70.00] C 30.00 Predeterminada

Temperatura de masa fundida [200.00:270.00] C 250.00 Predeterminada

Límite máximo de la presión de inyección

Presión máxima de inyección de la máquina [10.00:500.00] MPa 100.00

Conmutación automática de velocidad/presión

Conmutación de velocidad/presión por volumen % 99

Tiempo de inyección de la máquina

Tiempo de inyección automático

Tiempo (seg.): 0.0

Tiempo de máquina con molde abierto

Tiempo (seg.): 5.00

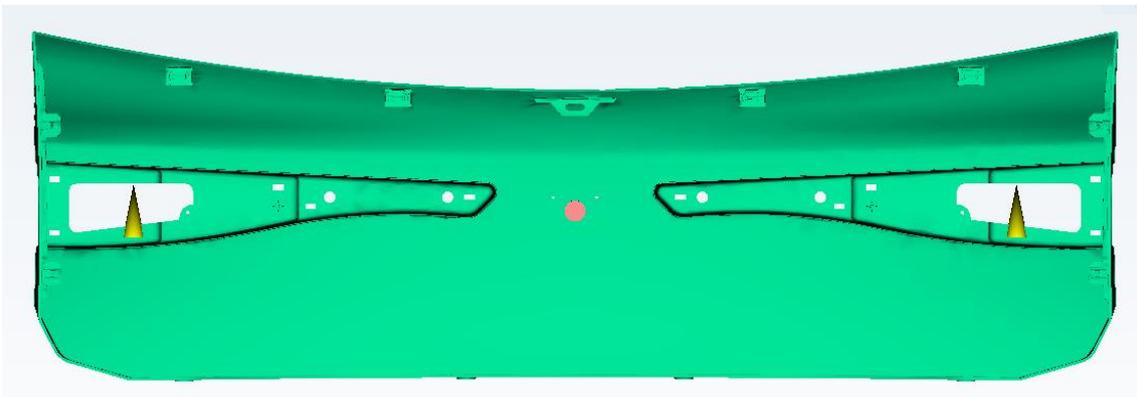
<Atrás | Siguiente> | Finalizar | Analizar | Cancelar | Ayuda

- **MODELOS:**

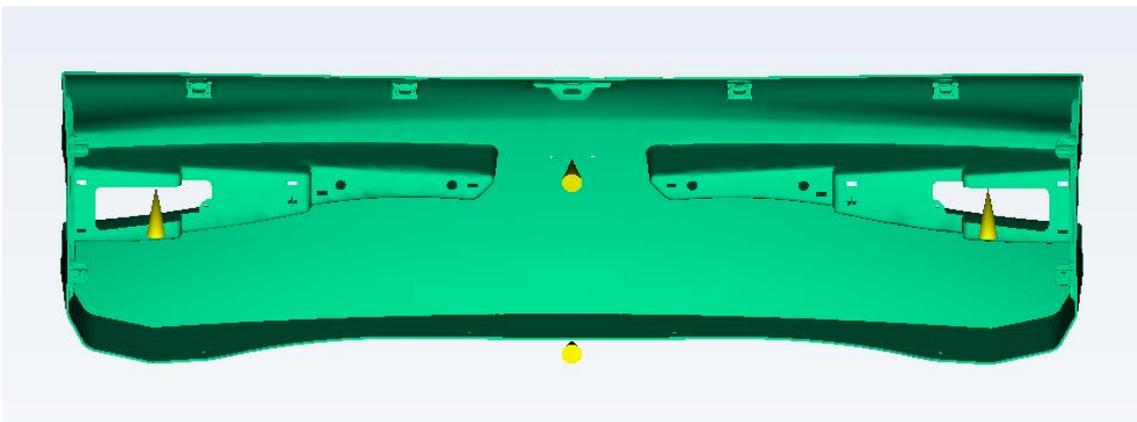
El siguiente paso será colocar los puntos de inyección en la pieza, al ser una pieza de grandes dimensiones se necesitan varios puntos de inyección. Se harán varios estudios con diferentes conjuntos de puntos de inyección con el fin de compararlos y elegir el más adecuado.

Es muy importante las limitaciones de la pieza a la hora de colocar los puntos de inyección: no se puede colocar ninguno punto en cualquier cara vista, se deberán poner en la zona de los focos, en la zona de el logo o en las aristas traseras de la pieza. Ya que son localizaciones donde la rebaba resultante de la inyección no afecta las caras vistas de la pieza.

Modelo A: 3 Puntos de Inyección, la localización sería un punto en el medio y dos en los laterales en la zona pilotos.



Modelo B: 4 Puntos de Inyección, la localización sería un punto zona logo, otro en la arista inferior pieza, y dos en los pilotos.



Modelo C. 4 Puntos de Inyección, la localización sería dos puntos en la arista inferior de la pieza, y otros dos en los pilotos.



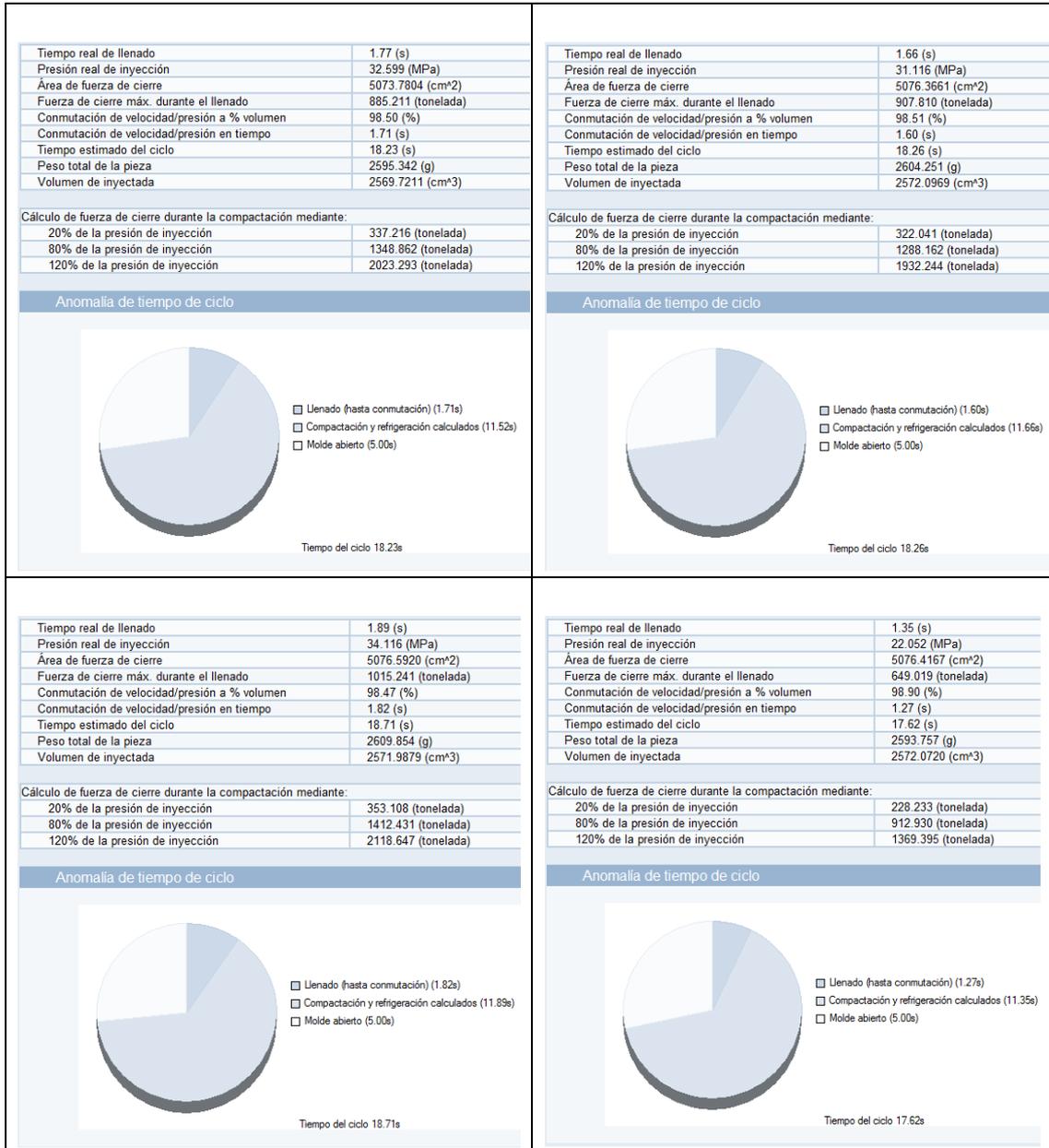
Modelo D: 5 Puntos de Inyección, la localización sería dos puntos en la arista inferior de la pieza, otro en la zona logo y otros dos en la zona pilotos.



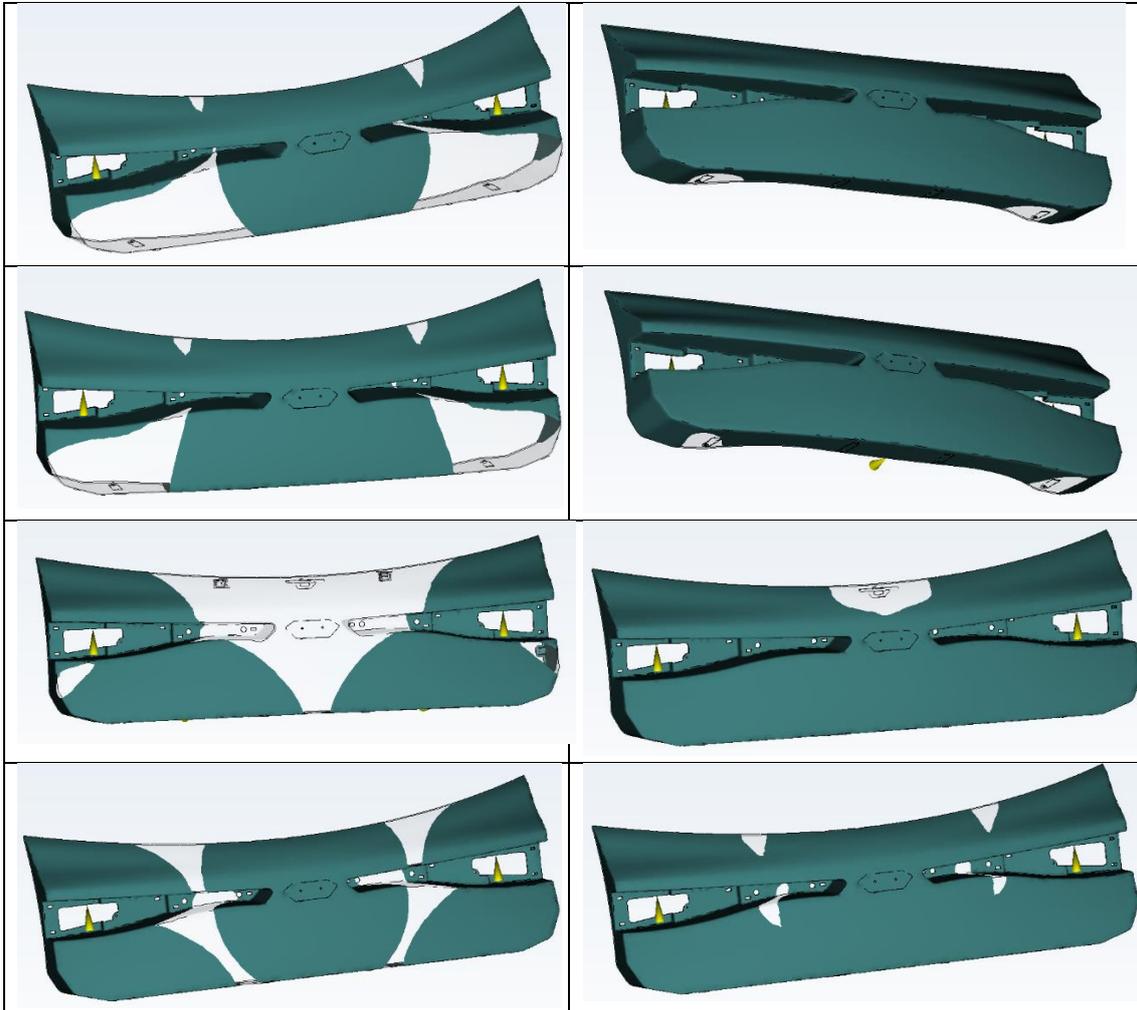
Gonzalo Alonso Alonso
INYECCIÓN Y DISEÑO DE UNA PIEZA PLÁSTICA

En primer lugar se analiza el llenado de las cuatro propuestas fijándose en los siguientes puntos clave que dirán que modelos son los más beneficiosos:

- **LLENADO:**



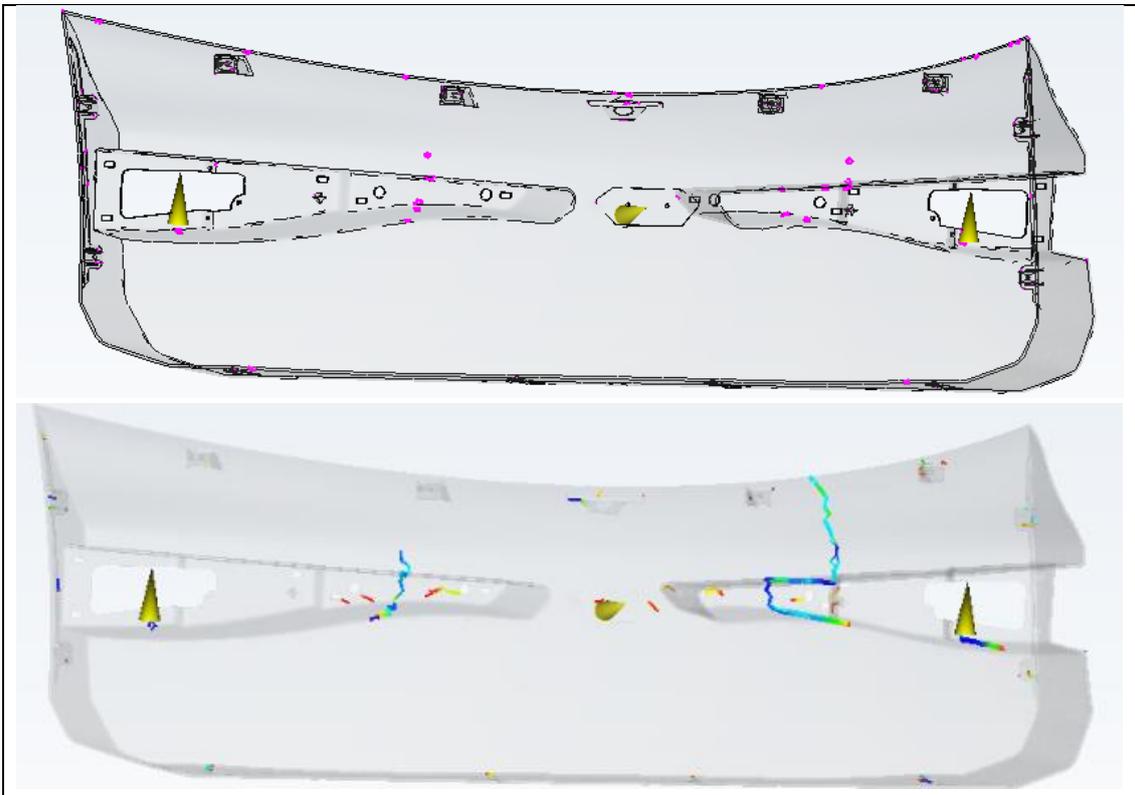
- **FLUJO DE PLASTICO, ÚLTIMAS ZONAS DE LLENADO:**



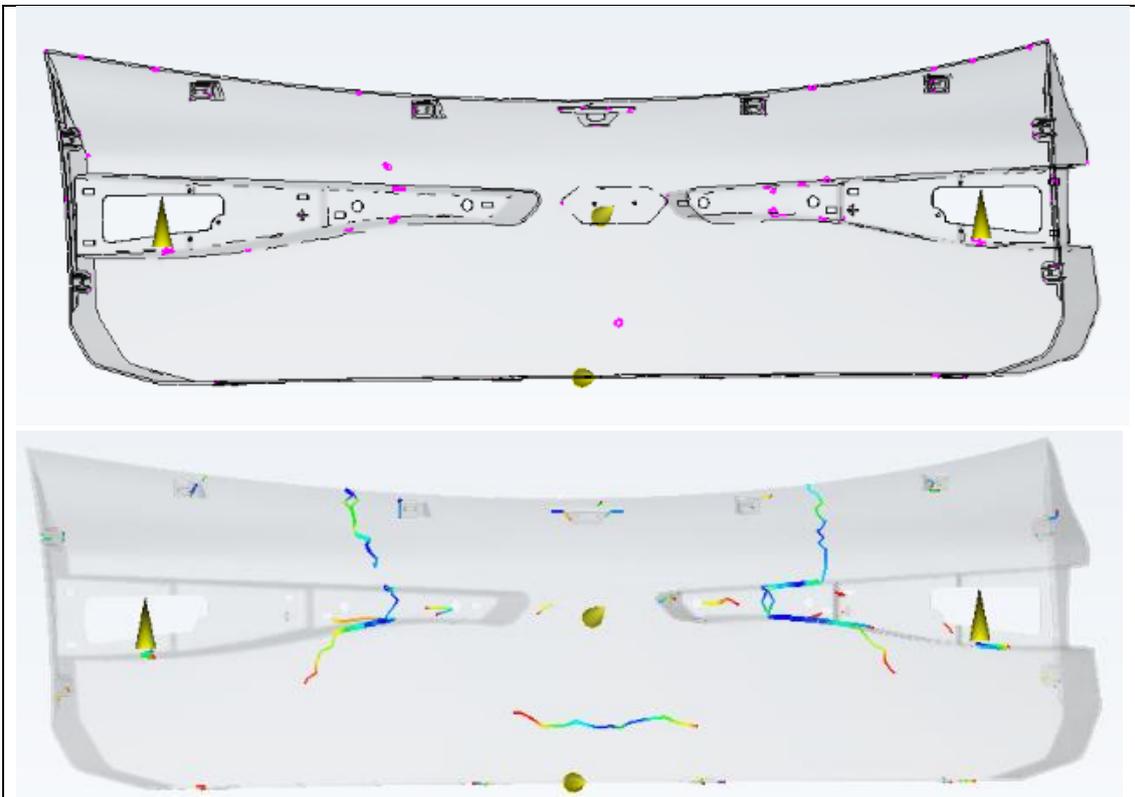
A través de una animación se ve el movimiento que realiza el plástico en cada modelo. En las imágenes de arriba se muestran los momentos críticos de cada modelo. En los modelos C y D se puede ver que en algún momento de la inyección quedan islas sin material, esto es muy perjudicial porque en esas zonas se quedan gases que no pueden escapar y transmiten defectos a las piezas tales como ampollas o burbujas. Sin embargo en los modelos A y B no quedan islas de gases por lo que estos defectos no saldrían. Para corroborar esto, se muestra a continuación los análisis de “Atrapamiento de aire” y “Líneas de soldadura” de los distintos modelos.

- **ATRAPAMIENTOS DE AIRE / LINEAS DE SOLDADURA:**

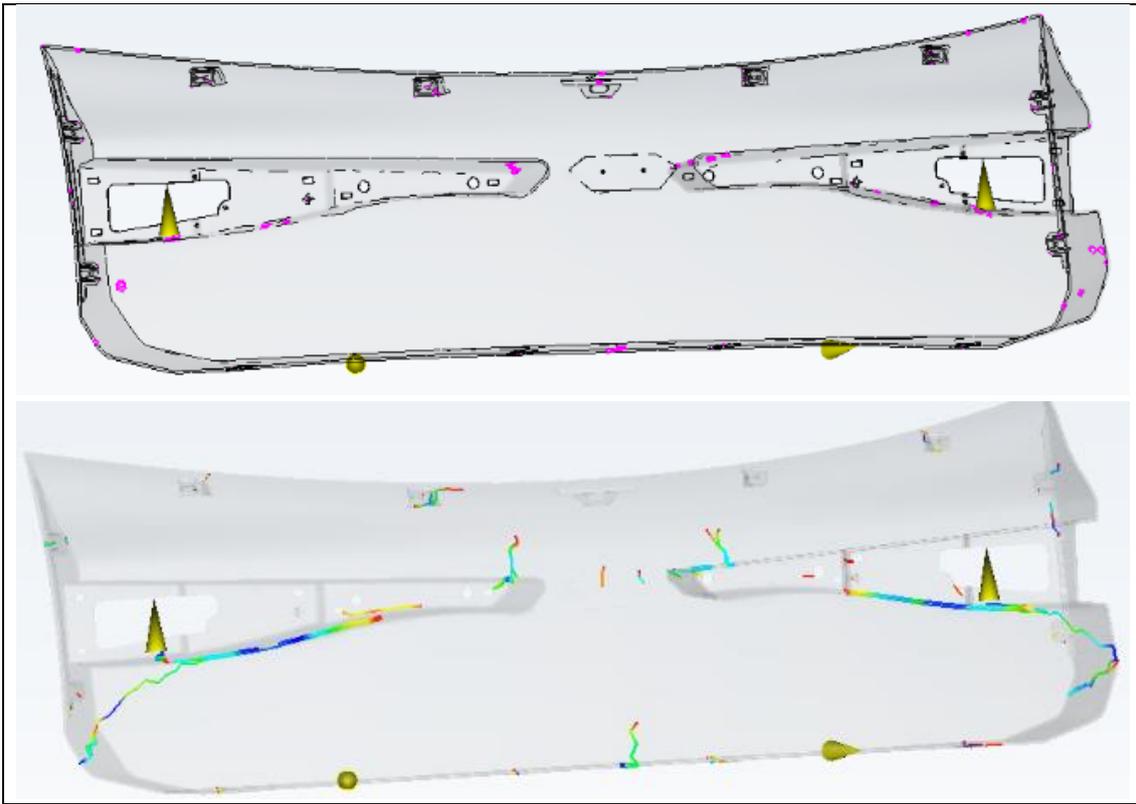
Modelo A:



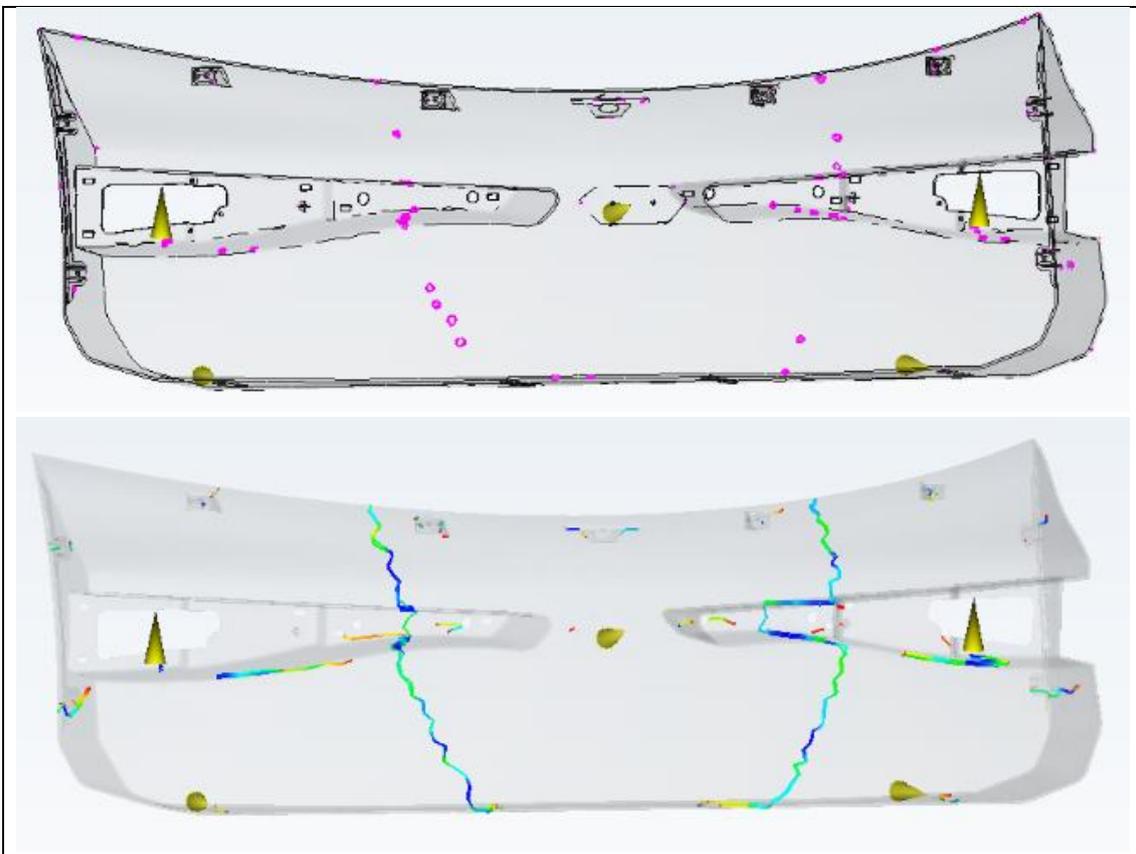
Modelo B:



Modelo C:



Modelo D:



“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 quemé.”
(Moldflow)

Como se había anticipado en los modelos C y D se producen más atrapamientos de aire, sobre todo en las caras vistas, ya que los atrapamientos en la zona del piloto no preocupan tanto porque esa zona de la pieza ira tapada por los pilotos traseros y sería permisible. Sin embargo en los modelos A y B las zonas de atrapamientos de aire se producen casi en su totalidad en la zona de los pilotos. Los atrapamientos que surjan en los bordes de la pieza no serán problemáticos ya que a los moldes se les realiza salida de gases.



“El resultado 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.”

“El término "línea de soldadura" se suele usar para hacer referencia tanto a líneas de soldadura como a líneas de flujo. La única diferencia entre ellas es el ángulo en el que se forman; las líneas de soldadura se forman en ángulos más pequeños que las líneas de flujo. Las líneas de soldadura pueden provocar problemas estructurales y hacer que el aspecto de la pieza no sea aceptable, pero son inevitables cuando el frente de flujo se divide y vuelve a juntarse alrededor de un orificio, o si la pieza tiene varias entradas.”

(Moldflow)

Las líneas de soldadura tienen relación con los atrapamientos porque se producen con la unión de dos líneas de flujo, pero si el aire o gas dentro de la pieza tiene salida, solo se produciría línea de soldadura y no atrapamientos.

Hay que vigilar estas líneas de soldadura porque aparte de que la pieza pueda perder resistencia estructural pueden dar defectos de calidad visual, ya que incluso después de pintar estas líneas pueden seguir siendo visibles en algunos colores.

En las simulaciones vemos que excepto en el modelo A, todos los demás aparecen líneas de soldadura en las caras vistas. Las líneas de flujo se pueden subsanar con una inyección más rápida, es decir con un aumento de la presión de inyección.

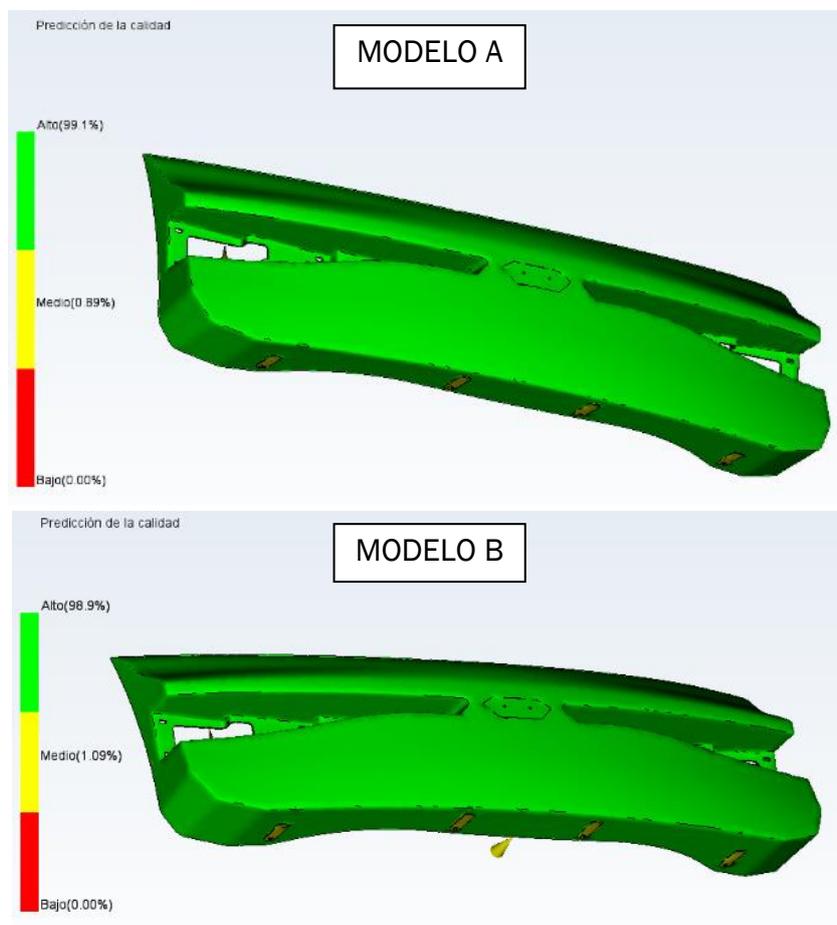
Se descarta claramente el **modelo D**, porque que tiene la cara vista llena de líneas de soldadura y muchos atrapamientos de aire.

La situación del modelo B y C es similar, los dos tienen algunas líneas de soldadura y algún atrapamiento, pero se **descartará el modelo C** por la simulación de llenado, donde en el modelo C se ve claramente que va a parecer dos isla de gran tamaño donde el aire atrapado puede ser muy problemático, sin embargo en el modelo B no aparecen dichas islas de aire en ningún momento de la inyección.

Aunque si es cierto que tiene bastantes líneas de soldadura pero son más fácil de controlar y subsanar cambiando los parámetros de inyección en la prensa, como por ejemplo la secuencia de entrada de los puntos de inyección o incrementando la velocidad de inyección.

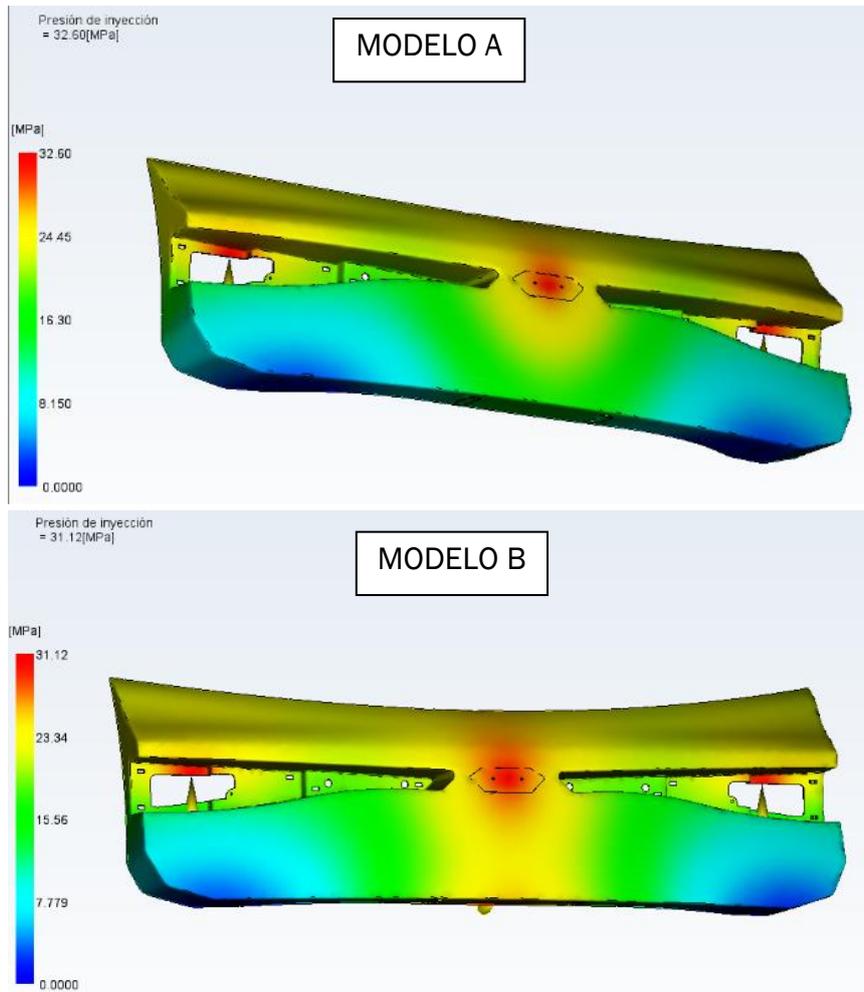
El modelo A a priori con lo estudiado hasta ahora parece el más favorable, pero no es suficiente para tomar una decisión final, por lo que se compara con el modelo B durante el resto del estudio.

- **PREDICCIÓN DE LA CALIDAD:**



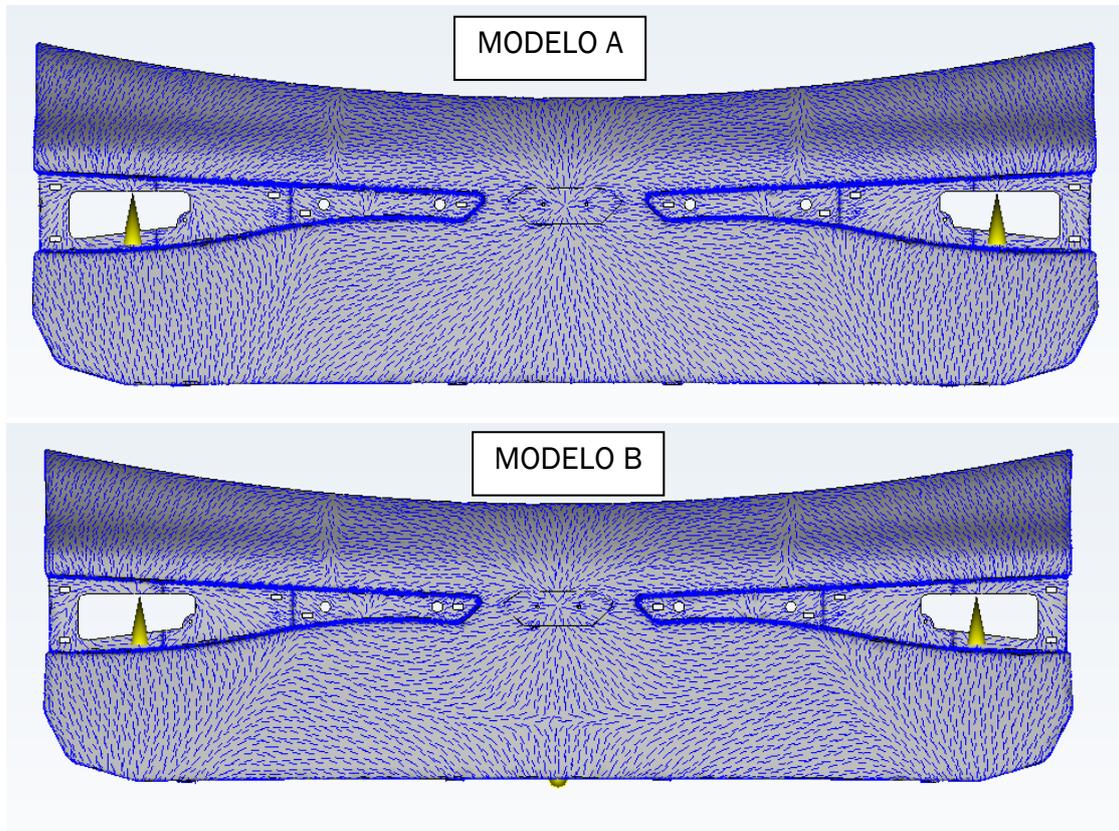
Muy similares la calidad general de la pieza, un poco mejor el modelo A, pero las dos pueden dar problemas en los salientes inferiores, por lo que habrá que vigilar la calidad de esas zonas

- **PRESIÓN DE INYECCIÓN:**



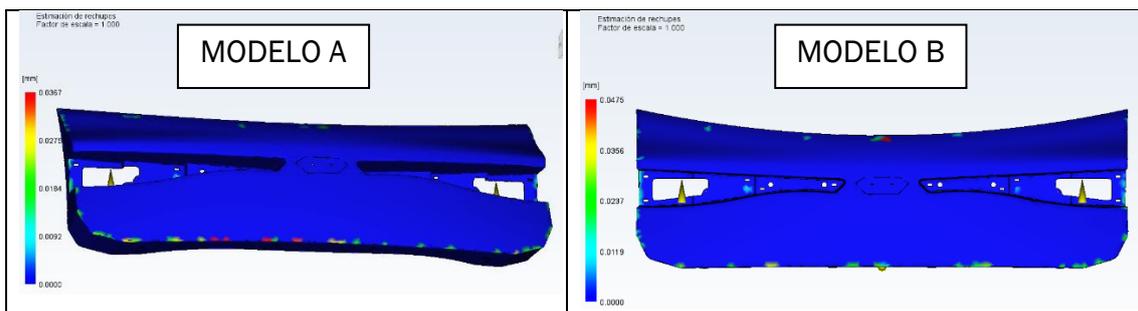
La máxima presión del modelo A: 32,5 Mpa y del modelo B: 31,12 Mpa
Tiene sentido ya que, el modelo B tiene un punto más de inyección por lo que necesitara menos presión para llenar la pieza.

- **ORIENTACIÓN EN SUPERFICIE:**



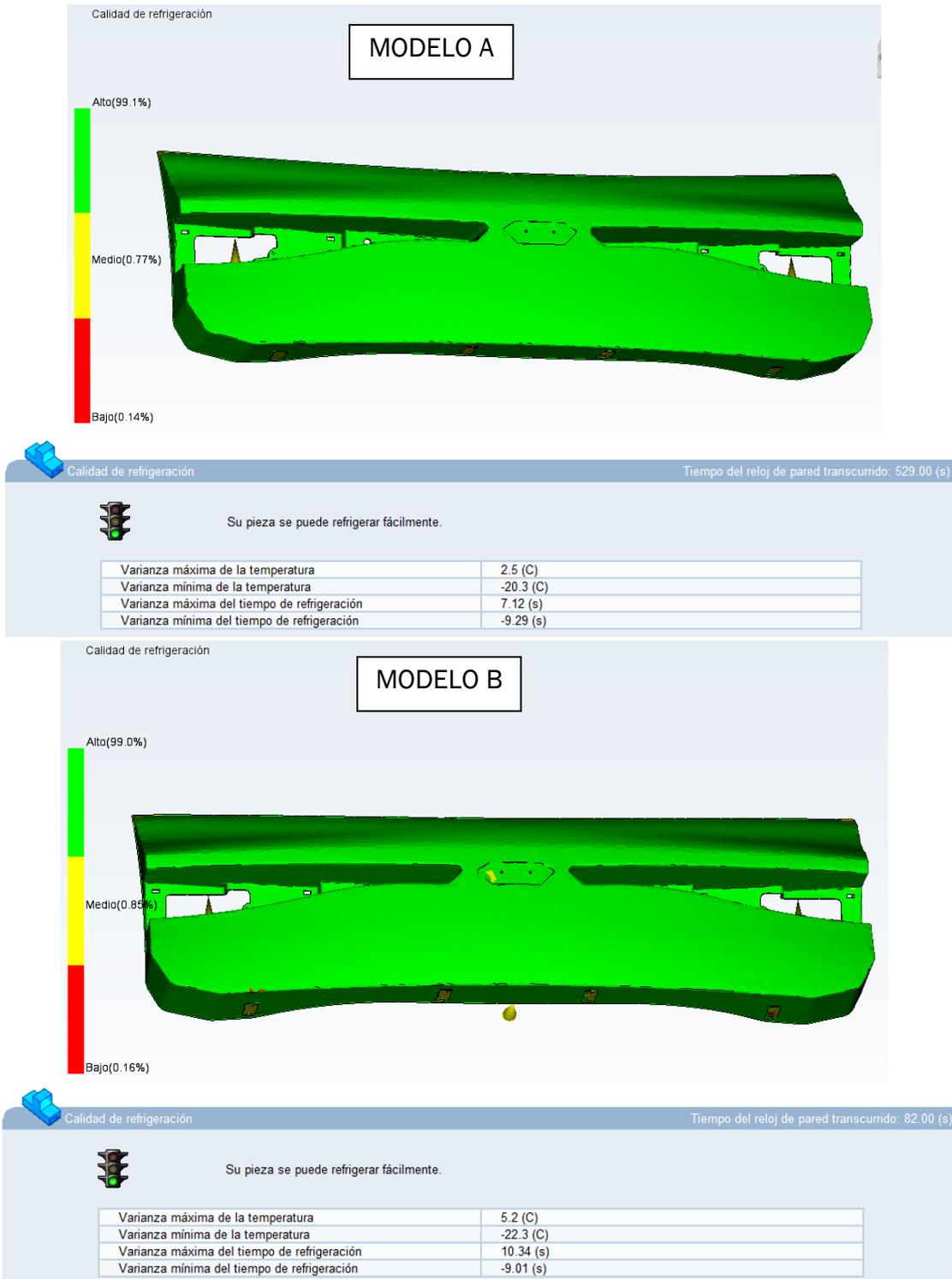
Se ve como la orientación del polímero en la superficie es un poco más limpia en el modelo A.

- **ESTIMACIÓN DE RECHUPES:**



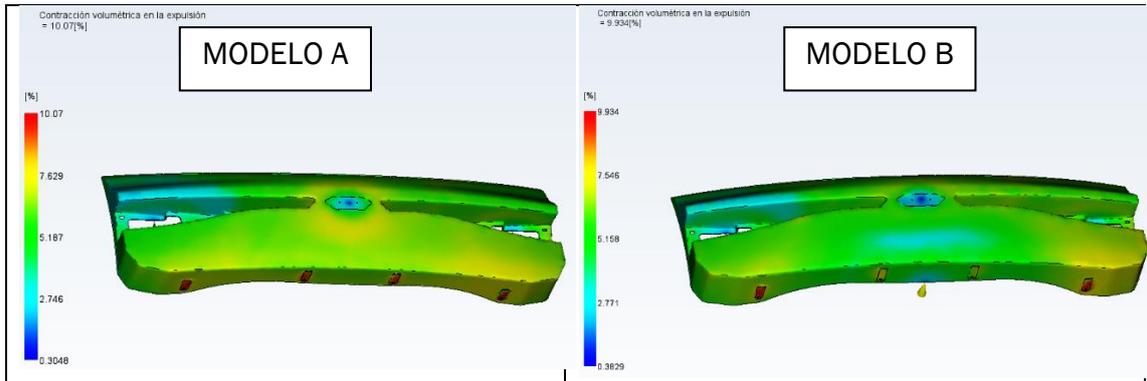
En un factor de escala = 1 la estimación de rechupes mayor en el modelo A es 0,0367 y en el modelo B es 0,0475. Valores muy similares, un poco mejor el modelo A.

• **REFRIGERACIÓN:**



Respecto a la calidad de refrigeración se vuelve a tener valores muy similares. Solo se debe controlar los salientes inferiores donde habrá que diseñar más superficie de refrigeración en esa zona para poder conseguir una buena calidad en esa parte de la pieza.

- **CONTRACCIÓN:**



La contracción como sigue la tendencia tienen valores semejantes, aunque mejora un poco en el modelo B.

Como ya se ha visto en los anteriores análisis de predicción de calidad y calidad de refrigeración las zonas de los salientes inferiores son problemas, pero todos los defectos van relacionados, es decir sufrirán una mayor contracción porque son más difíciles de refrigerar (al tener más espesor) por lo que la calidad final será peor, a no ser que se refrigere bien esa zona con algún circuito de refrigeración de refuerzo. Será una reseña a añadir para el futuro diseño del molde.

- **COMPACTACIÓN:**

Llenado+compactación Tiempo del reloj de pared transcurrido: 403.00 (s)

Su pieza puede llenarse fácilmente, pero la calidad podría no ser aceptable.
 Para obtener ayuda sobre la forma de mejorar la calidad de la pieza, vea el [gráfico de la predicción de la calidad](#) y use el [consultor de resultados](#).

Fuerza de cierre máxima durante el ciclo	1132.655 (tonelada)
Esfuerzo de cizalla máx. de la pared	0.260 (MPa)
Peso total de la pieza	2746.424 (g)
Tiempo de refrigeración	0.00 (s)
Tiempo del ciclo	16.71 (s)

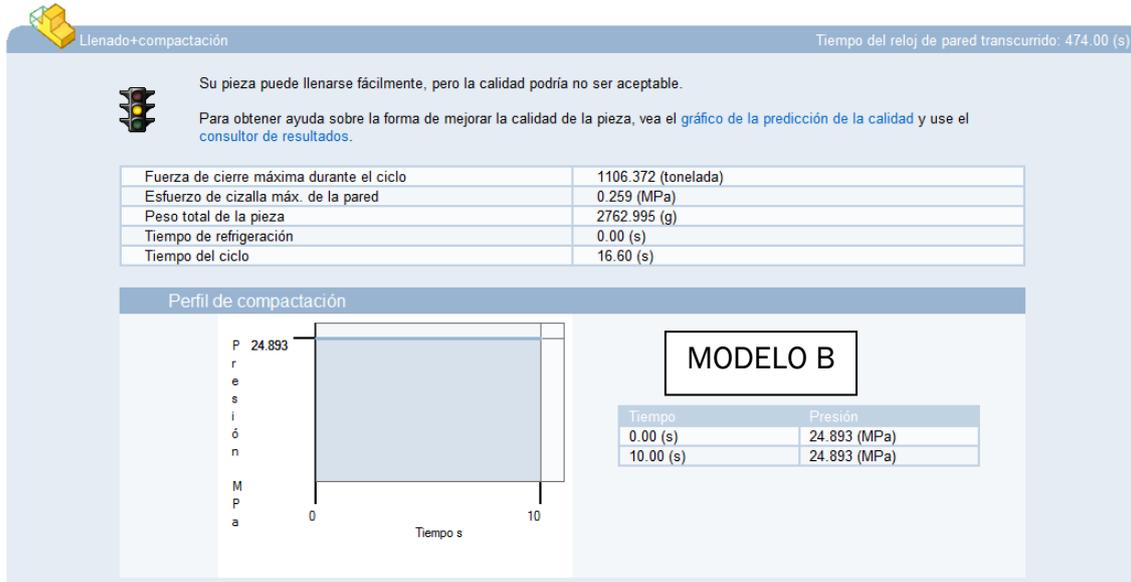
Perfil de compactación

P
r
e
s
i
ó
n

M
P
a

MODELO A

Tiempo	Presión
0.00 (s)	26.079 (MPa)
10.00 (s)	26.079 (MPa)



Al igual que la presión de inyección, la presión de compactación es mayor en el modelo A (porque tiene un punto menos de inyección para llenar el mismo volumen). La fuerza de cierre máxima que tiene que ejercer el molde será mayor en el modelo A también porque tiene que aguantar mayores presiones en el interior del molde. El tiempo de ciclo apenas varía entre un modelo y otro. Para estas condiciones el peso de la pieza con el modelo B es más pesada 2763 gr frente al modelo A 2742 gr.

El peso de la pieza depende proporcionalmente de la compactación.

ELECCIÓN FINAL:

El modelo A y el modelo B son muy parecidos, pero el modelo A mejora en varios aspectos, sobretodo en líneas de soldadura y atrapamientos de aire. Además el modelo A tiene un punto menos de inyección, lo que supone un ahorro a la hora de diseñar, fabricar y llevar a cabo el mantenimiento del molde.

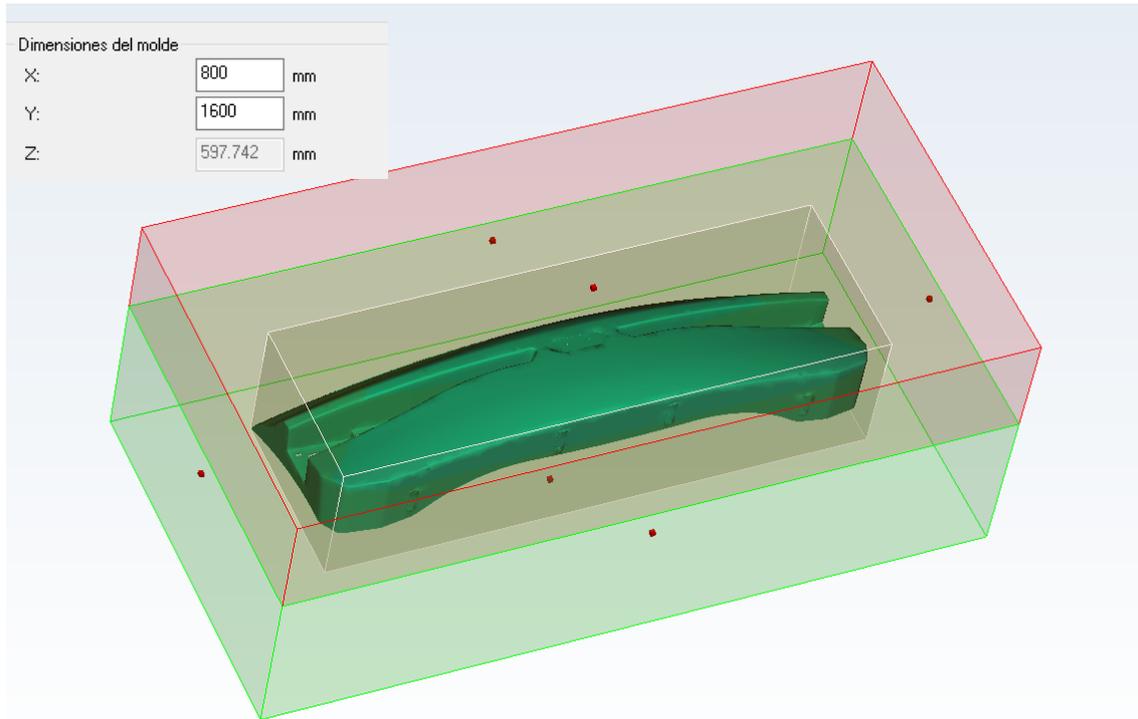
El modelo B tiene el tiempo de llenado algo inferior, pero el tiempo de ciclo total es igual en ambos modelos, por lo que no será un dato revelador.

Por tanto el modelo elegido para la inyección de la pieza a estudio será el **MODELO A**.

- **Análisis completo del modelo A.**

Una vez que ya se ha seleccionado el modelo A para la inyección de la pieza, es hora de realizar un análisis más preciso añadiendo la distribución de los sistemas de inyección y de los sistemas de refrigeración.

Se empieza seleccionando las dimensiones del molde donde se inyectará la pieza y las partes del molde. El molde real tendrá 3 platos en verde dos, porque el del medio es el encargado de accionar todo el sistema de expulsión de la pieza.



Sistema de canales de inyección:

El sistema de distribución de la inyección es muy sencillo, el bebedero se encuentra en el centro del molde (coincidiendo con la posición de la puntera de inyección de la máquina) y de él salen tres canales uno para cada punto de inyección que estarán dispuestos de una entrada cada uno de ellos.

Se han configurado los siguientes parámetros:

Propiedades del bebedero:

Propiedades del bebedero

Tipo de bebedero: Caliente

Forma del bebedero: Circular cónico

Descripción
 Circular cónico frío o calentado externamente.

Diámetro inicial (1): 8 mm

Diámetro final (2): 10 mm

Longitud: 0 mm

Propiedades de las entradas:

Propiedades de la entrada

Tipo de entrada: Caliente

Forma de la entrada: Anular

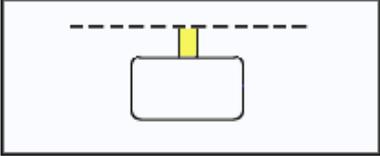
Descripción
 Elemento anular calentado internamente.

Diámetro externo (1): 3 mm

Diámetro interno (2): 1.5 mm

Temperatura: Definido por el usuario
250 C

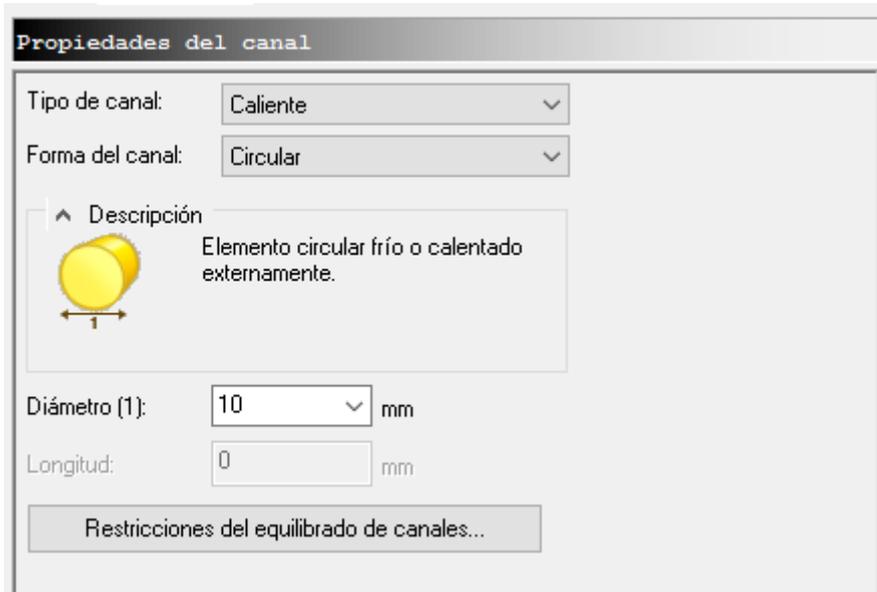
Orientación: Vertical



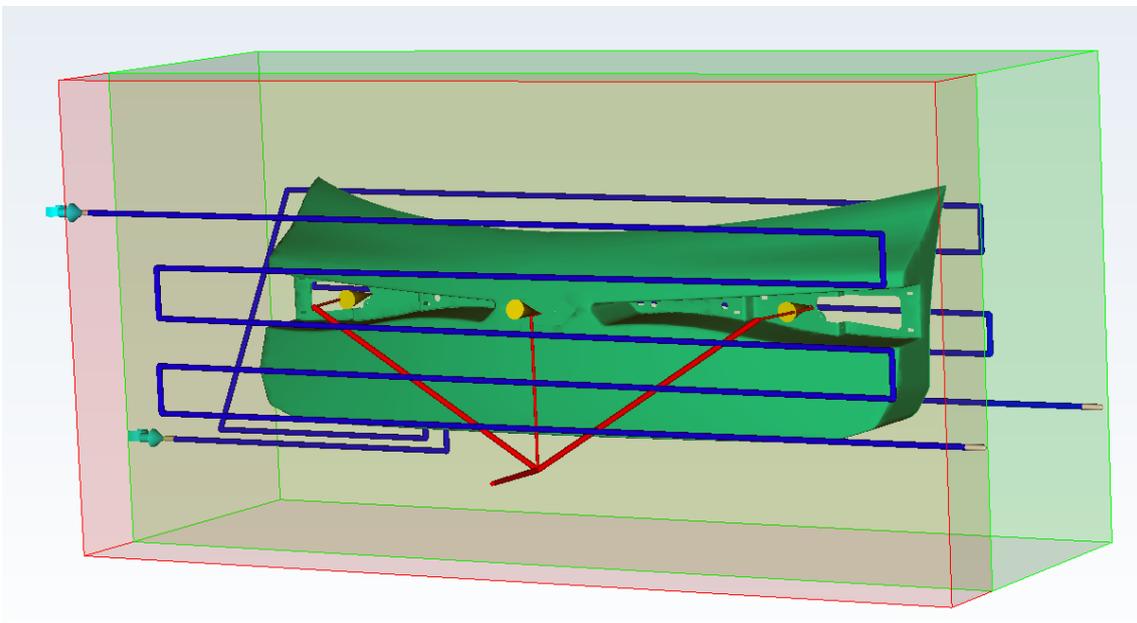
Longitud horizontal: 10 mm

Rotar entrada: 0 deg

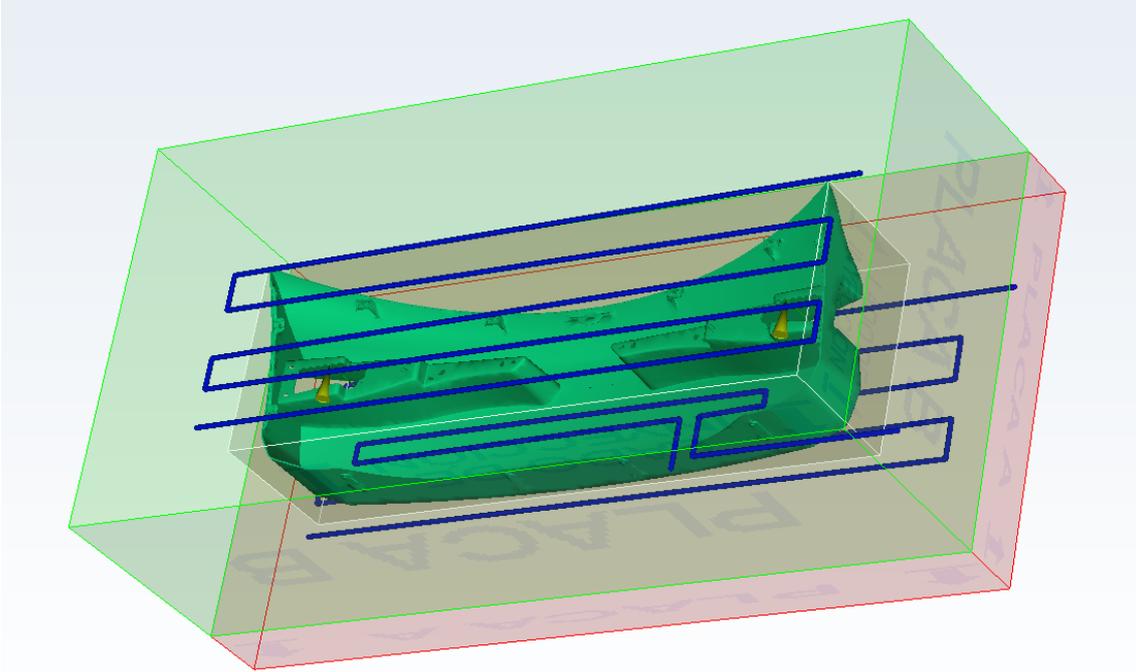
Propiedades de los canales:



Para el diseño de los canales de inyección se tiene que tener en cuenta la posición de la boquilla del cilindro para que coincida con el bebedero. El resto de la distribución de los canales será aproximado, porque con todos los elementos del molde, como noyos, expulsores, calas, sensores, etc. limita el diseño y localización de dichos canales de inyección.



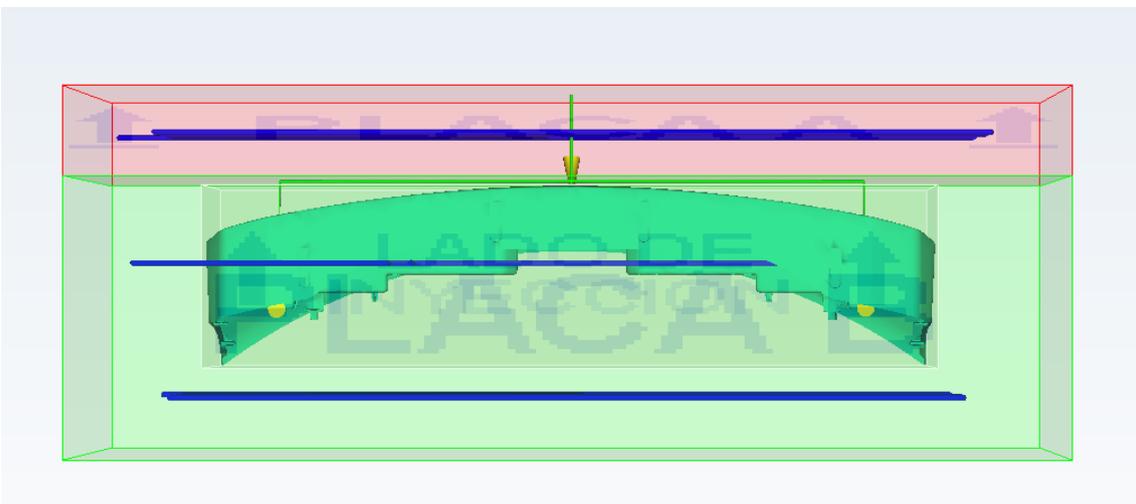
Sistema de canales de refrigeración:



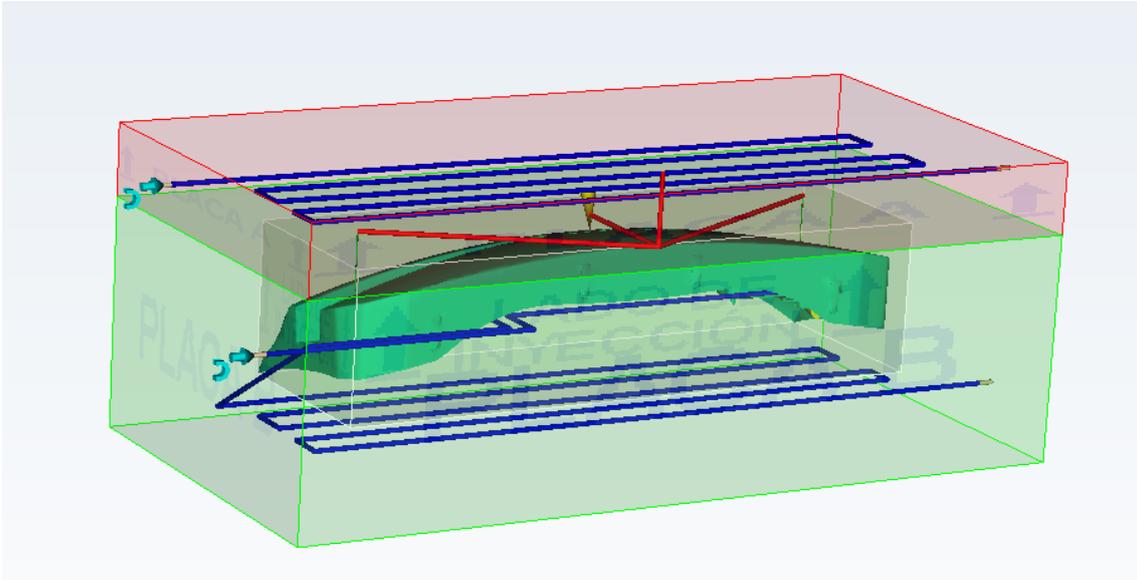
En la inyección de plásticos es muy importante la refrigeración del molde, conseguir tener una temperatura constante en todo el molde es una de las claves para que la pieza salga sin defectos.

Como se demostró en el estudio anterior, se tenía en los salientes inferiores una zona crítica donde no se aseguraba la calidad de la pieza porque al tener mayor espesor era más difícil la refrigeración, por eso se ha considerado realizar tres planos con sistemas de refrigeración:

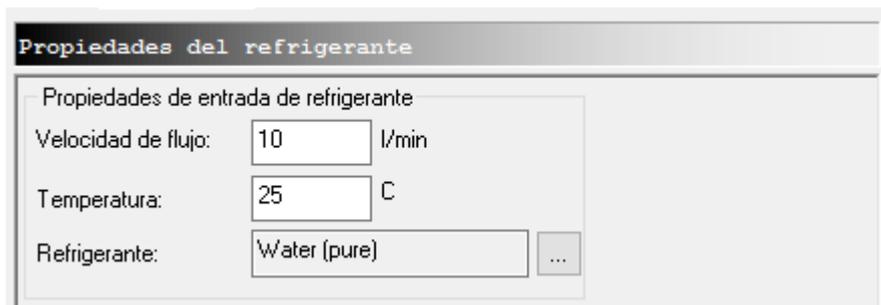
Uno sobre la cara vista en el plato fijo del molde, por donde se inyectará el material, y otros dos en el plato móvil del molde, uno en la parte trasera cubriendo toda pieza, y otro sobre un plano intermedio para reforzar la refrigeración de la zona crítica.



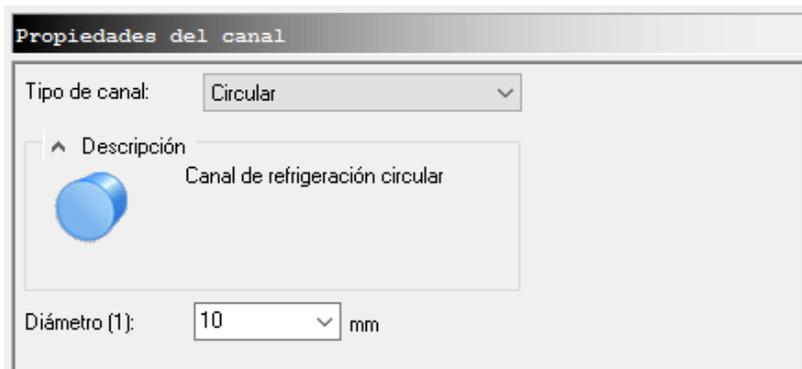
Tendremos que tener dos entradas y dos salidas, unas por cada parte del molde.



Propiedades de la entrada de refrigerante:



Propiedades canales de refrigerante:



Si se selecciona todas las propiedades del molde y sus circuitos tendremos unos resultados más exactos, aunque no difieren mucho de los anteriores.

5.2. Datos de la pieza.

Volumen pieza: $0.002577\text{m}^3 = 2\,577\,000\text{ mm}^3$

Área superficie: 0.889m^2

Área pieza solida: 1.72m^2

Área proyectada: $0.402\text{ m}^2 = 402\,000\text{ mm}^2$

Espesor de pared nominal: 3mm

Peso total de la pieza= 2762.995 g

5.3. Fuerza de Cierre.

Moldflow calcula la fuerza máxima de cierre que debe ejercer el molde durante el proceso: $1106,37\text{ Tn}$

Se puede calcular una aproximación de este valor de una forma teórica:

En verdad el valor que se puede calcular es la fuerza expansiva que se produce dentro del molde, que a su vez es la fuerza necesaria para mantener el molde cerrado. Aunque la fuerza de cierre siempre tendrá que ser superior para asegurar la seguridad.

La fuerza expansiva se calcula con el producto de la presión en el interior del molde por el área proyectada de la pieza:

F. expansiva = $P \times A$. Proyectada

P= Presión dentro del molde, es decir la máxima presión de inyección

A. Proyectada= Área proyectada de la pieza en la dirección del desmoldeo

$$F = 32.6\text{ Mpa} \times 0.402\text{ m}^2 \times \frac{10^6\text{ Pa}}{1\text{ MPa}} \times \frac{1\text{ Kg}}{9,8\text{ N}} \times \frac{1\text{ Tn}}{1000\text{ Kg}} = 1324\text{ Tn}$$

La prensa encargada de la inyección de estas piezas deberá tener una Fuerza de cierre como mínimo de 2000 Tn. Ya que durante la fabricación se pueden modificar parámetros y necesitar más fuerza de cierre de la teórica.

5.4. Contracción.

En toda inyección se tiene presente que las cavidades del molde tendrán que ser de unas dimensiones mayores a las dimensiones que se quieran en la pieza, debido a que la pieza en la etapa de enfriamiento sufre una cierta contracción.

Por tanto la contracción es la relación entre la longitud desarrollada en el molde y la longitud final de la pieza:

$$R = \left(\frac{L_{molde}}{L_{pieza}} - 1 \right) \times 100$$

La contracción depende de:

1. Las condiciones de inyección y su configuración
2. Las sollicitaciones térmicas aplicadas sobre la pieza
3. La tasa de humedad de los materiales
4. El espesor de la pieza y de su longitud
5. El molde

El estudio con Moldflow nos ha revelado que tendremos zonas con una contracción alta sobre el 10%, pero es debido a que son zonas de más espesor y no tiene en cuenta la refrigeración de la pieza. Pero la contracción media que da es del 3,5-4%. A este porcentaje de contracción habría que sumarle la contracción que sufre la pieza en los procesos térmicos de pintura, sobre el 0,4% y la absorción de humedad a medio plazo que ronda por el 1% del peso. Por lo que en total la pieza sufrirá una contracción del 4,5-5%

Nota: No se tiene que olvidar tener en cuenta las contracciones de la pieza para todas las modificaciones geométricas que se quieran hacer.

6. Conclusiones.

Con el presente trabajo fin de grado se ha conseguido ampliar los conocimientos que con anterioridad habían sido mostrados en las prácticas “Renault”, donde se tuvo la oportunidad de adentrarse en el mundo de la inyección de plásticos, manejar prensas de inyección, conocer los puntos claves para la inyección de piezas plásticas, etc. Dicha experiencia en Renault ha servido de base para la realización del trabajo.

Con el diseño de la pieza plástica se ha reforzado y ampliado todo lo aprendido en las asignaturas de CAD del Grado en Ingeniería Mecánica, consiguiendo dominar el módulo de superficies “Generative Shape Design” y a su vez compaginarlo con las necesidades de diseño que debe cumplir una pieza de inyección.

Pero se debía llegar más lejos, por eso se buscó dar el siguiente paso. Realizar el análisis computacional previo a la construcción del molde de inyección con el programa Moldflow. Se consigue tener una previsualización de la inyección, controlar y modificar los parámetros de inyección, y todo ello sin tener que construir un molde. Así anticiparse a posibles fallos en el proceso o errores en el diseño de la pieza y del molde. Por lo que es una herramienta que ahorra muchos costes a los conceptores de piezas y moldes.

Se ha logrado controlar un software de análisis tan complejo como Moldflow, el cual se usa por grandes empresas dedicadas a la transformación del plástico. El aprendizaje ha sido desde cero, de una forma autodidacta apoyándose en la propia web del fabricante, Autodesk, donde en cada informe o estudios publicados se consigue aprender funciones nuevas del programa.

7. Bibliografía.

- Materiales Plásticos (Documentos y formación interna Renault)
- Parámetros de Máquina de Inyección (Documentos y formación interna Renault)
- Prensas de Inyección (Documentos y formación interna Renault)
- Moldes de Inyección (Documentos y formación interna Renault)
- Tecnología de Polímeros. M. Beltrán y A. Marcilla

- tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es
- www.interempresas.net/Plastico/Articulos/Actualidad/
- Revista Plásticos Universales (interempresas.net):
- pervysa.blogspot.com.es/p/aprendiendo.html
- www.plastico.com/temas/Fabricacion-de-husillos-para-las-areas-de-inyeccion-y-extrusion
- www.plastico.com/temas/Por-que-inyectar-con-tecnologia-hibrida+3031681?pagina=3

- help.autodesk.com/view/MFAA/2017/ESP/

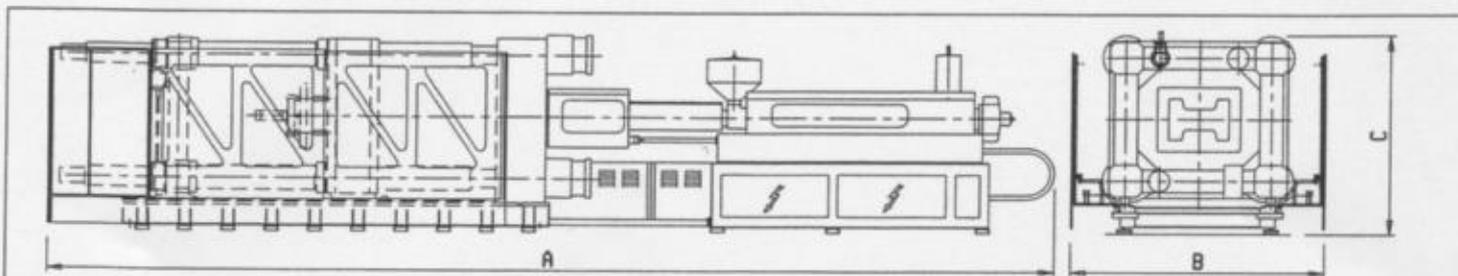
- www.autodesk.com/products/moldflow/overview

- www.italtech.it/
- www.engelglobal.com
- www.recahu.com/index.php
- www.maguire.com/
- www.arburg.com

8. Anexos

MSK 2250 / 13250

classificazione euromap euromap code		22072H/20576		classification euromap denominacion euromap	
gruppo d'iniezione injection unit		13250		type d'injection inyeccion tipo	
diametro vite screw diametre	mm	115		diametre de la vis diametro husillo	
rapporto L/D screw L/D ratio	n°	21		rapport L/D relacion L/D husillo	
volume iniezione calcolato theoretical injection capacity	cm ³	7790		volume d'injection theorique volumen inyeccion	
capacita iniezione hdpe shot weight hdpe	g	5530		poids injectable hdpe capacidad inyeccion hdpe	
pressione d'iniezione max injection pressure max	bar	2640		pression d'injection presion inyeccion	
giri vite screw speed	② min-1	65		② vitesse rotation velocidad rotacion husillo	
coppia sulla vite screw torque	Nm	14190		couple vis max torsion sobre el husillo	
capacita di plastificazione hdpe plasticising capacity hdpe	③ g/s	80		③ capacite de plastification hdpe capacidad plastification hdpe	
potenza riscaldamento heating capacity	KW	107		puissance chauffage potencia calefaccion	
portata standard standard shot capacity	cm ³ /s			debit d'injection standard capacidad inyeccion estandar	
portata con accumulatore shot capacity with accumulator	cm ³ /s	1560		debit d'injection accumulateur capacidad inyeccion acumulador	
forza chiusura clamping force	KN	22072		force de fermeture fuerza de cierre	
corsa di apertura opening stroke	mm	2000		course ouverture carrera de apertura	
spessore stampi max/min mould height max/min	mm	2000-800		hauteur du moule max/min espesor molde max/min	
max distanza tra i piani max daylight	mm	4000		max distance entre plateaux max distancia entre los platos	
dimensione piani HxU size of platens HxU	mm	2880x2490		dimensions des plateaux HxU dimensiones de los platos HxU	
distanza fra le colonne HxU distance between tie bars HxU	mm	1905x1525		distance entre colonnes HxU espacio entre columnas HxU	
forza di espulsione ejector force	KN	-		force ejection hydraulique fuerza expulsor hidraulico	
corsa di espulsione ejector stroke	mm	-		course d'ejection hydraulique carrera expulsor hidraulico	
diametro colonne tie bars diametre	mm	300		diametre colonnes diametro columnas	
potenza motore pompe rating of electric motor	KW	180		puissance moteur pompe potencia motores bombas	
potenza totale installata total power	KW	287		puissance total installee potencia electrica maxima	
capacita serbatoio oil tank capacity	l	2000		reservoir capacidad deposito aceite	
ciclo a vuoto dry cycles	① s	14		① cadence a vide ciclo en vacio	
1 CALCOLATO SECONDO EUROMAP SENZA ARRETRAMENTO UGELLO / WITHOUT NOZZLE RETRACTION / SANS RETOUR DE BUSE / SIN RETORNO BOQUIL					
2 CON SOVRAPPOSIZIONE MOVIMENTI / WITH OVERLAPPING OF MOVEMENTS / AVEC SUPERPOSITION DES MOVEMENTS / CON SUPERPOSICION					
3 CON VITE A PROFILO SPECIALE / WITH SPECIAL SCREW / AVEC VIS A PROFIL SPECIAL / CON TORNILLO ESPECIAL					



gr. d'iniezione/ injection unit	13250	type d'injection/inyeccion tipo	
A	16500	A	Data : 06/11/2001
B	4000	B	
C	3300	C	
Peso macchina / machine weight	125 tons	Poids de la presse / peso maquina	COMM : 201027

Description

Finalloy EBP-830/9 is a mineral-filled and impact modified polypropylene-based compound that combines a **very high rigidity**, good processability and a very low linear thermal expansion.

Finalloy EBP-830/9 is particularly suitable for the injection moulding of automotive body parts, which require high stiffness, good paintability and **high-quality surface aspect after painting**.

Characteristics

	Method	Unit	Typical Value
Rheological properties			
Melt Flow Index 230°C/2.16 kg	ISO 1133	g/10 min	15
Mechanical properties			
Tensile Strength at Yield	ISO 527	MPa	21
Elongation at break	ISO 527	%	25
Tensile Strain at Yield	ISO 527	%	2.5
Flexural modulus	ISO 178	MPa	3000
Charpy impact strength (notched)	ISO 179-1eA	kJ/m ²	
at 23°C			22
at -20°C			3
Thermal properties			
Melting range	internal method	°C	160-165
Heat Deflection Temperature	ISO 75-2	°C	
0.45 MPa - 120°C per hour			120
Vicat Softening point A50 (10N, 50°C/h)	ISO 306	°C	135
Linear mould shrinkage, MD, t=3mm	internal method	%	0.40-0.6
Coefficient of Linear Thermal Expansion	ASTM D 696	m/m/K	35*10 ⁻⁶
Other physical properties			
Density	ISO 1183	g/cm ³	1.140

Information contained in this publication is true and accurate at the time of publication and to the best of our knowledge. The nominal values stated herein are obtained using laboratory test specimens. Before using one of the products mentioned herein, customers and other users should take all care in determining the suitability of such product for the intended use. Unless specifically indicated, the products mentioned herein are not suitable for applications in the pharmaceutical or medical sector. The Companies within Total Petrochemicals do not accept any liability whatsoever arising from the use of this information or the use, application or processing of any product described herein. No information contained in this publication can be considered as a suggestion to infringe patents. The Companies disclaim any liability that may be claimed for infringement or alleged infringement of patents.

Processing Conditions

05/2013

FINALLOY EBP-830/9

Finalloy EBP-830/9 is a 30% mineral filled, rubber modified PP compound, with very high stiffness and very low thermal elongation. Because of its good flowability, **Finalloy EBP-830/9** is easy to be processed.

Drying

Prior to injection, the material should be dried during 2 hours at 80-90 °C (175°F-195°F)

Processing Temperatures

Barrel temperature Zone 1 (Hoper):	200°C	(390°F)
Barrel temperature Zone 5 :	250°C	(480°F)
Nozzle temperature:	250°C	(480°F)
Eventual hot runner temperature:	250°C	(480°F)

Depending on clamping force or other machine or part depending parameters (like flow length, wall thickness, ...), it may be advisable to decrease the temperatures with 20°C (65°F) or increase it with up to 20°C (65°F). The melt temperature should not exceed 270°C (520°F).

Long dwell times at high temperatures should be avoided.

Mould Temperature

The mould wall temperature during cycle should be around 35°C (95°F). In order to achieve shorter cycle times lower temperatures can be used. A higher mould wall temperature, e.g. 50°C (120°F) will improve surface aspect. Normally cold water cooling is used.

Changing of mould temperature might lead to a change in gloss and has an influence on the crystallization behavior of the polymeric material and thus on the final dimensions of the injected part.

Injection Speed and Pressure

One should inject at a medium injection speed. The injection pressure at switch over should be between 60 and 120 bar hydraulic. The holding pressure should be 30-60% of the maximum injection pressure (often about 30-40 bar hydraulic).

Note

Processing conditions have an influence on shrinkage, warpage and mechanical properties.



TOTAL PETROCHEMICALS RESEARCH FELUY

PP Automotive Department
Zone Industrielle C
B-7181 FELUY
Belgium
Tel : +32 (0)64 51 47 47
Fax : +32 (0)64 51 47 19

Information contained in this publication is true and accurate at the time of publication and to the best of our knowledge. The nominal values stated herein are obtained using laboratory test specimens. Before using one of the products mentioned herein, customers and other users should take all care in determining the suitability of such product for the intended use. The companies within TOTAL PETROCHEMICAL do not accept any liability whatsoever arising from the use of this information or the use, application or processing of any product described herein. No information contained in this publication can be considered as a suggestion to infringe patents. The companies disclaim any liability that may be claimed for infringement or alleged infringement of patent.