

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO DEL TROQUEL EMBUTIDOR Y
SIMULACION DEL PROCESO DE
EMBUTICIÓN***

DOCUMENTO 3- CALCULOS Y SIMULACIÓN

Alumno/Alumna: Intxaurbe Gutiérrez, Asier
Director/Directora (1): Lobato González, Roberto

Curso: 2018-2019

Fecha: Martes, 6, Junio, 2019

Documento 3: Cálculos Y Simulación

3.1. Introducción.....	3
3.2. Preparación De La Matriz Para La Embutición.....	4
3.3. Diagramas Fld Y Curvas Fld.....	6
3.4. Material De La Chapa.....	11
3.5. Cálculos Iniciales.....	13
3.6. Preparación De La Simulación.....	16
3.6.1. Importar matriz.....	18
3.6.2. Plano de simetria.....	19
3.6.3. Sistema de coordenadas auxiliar.....	21
3.6.4. Orientar elementos de la matriz.....	22
3.6.5. Definir partes de la matriz.....	25
3.6.6. Crear la chapa (Blank).....	27
3.6.7. Crear las herramientas (Tools).....	31
3.6.8. Diseñar los frenos (Drawbeads).....	34
3.6.9. Diseñar el proceso (Process).....	38
3.6.10. Inicio de la simulación (Solver).....	41
3.6.11. Navegando por el programa.....	43
3.7. Análisis de Resultados.....	44
3.8. Resultados De La Simulación.....	49
3.8.1 Diferentes simulaciones con la matriz definitiva.....	53
3.9. Elección De La Prensa.....	59
3.10. Elección Del Cojín De Prensa.....	62

3.1. INTRODUCCIÓN

En este documento se va a exponer el proceso de diseño que se ha seguido para el diseño del troquel desde que el cliente envía la pieza que desea hasta que se consigue un troquel apto para su embutición.

La importancia de elección de material, el tamaño, la forma de la chapa inicial y la explicación del comportamiento que en este tipo de proceso. También se explicará la función esencial que tienen los diagramas FLD del material para entender el comportamiento de la chapa a lo largo de toda la embutición. Todos los aspectos relativos a los cálculos iniciales necesarios para iniciar el proceso, los cálculos realizados por el software de simulación de la embutición y se mostrarán y explicarán los resultados y gráficas arrojadas por el programa en las diferentes pruebas realizadas.

El objetivo final es el de obtener la mejor pieza acabada posible, por lo que, se han llevado a cabo muchas simulaciones en las que se han cambiado las múltiples variables que intervienen en el proceso de embutición, la cuales se explicaran próximamente.

El propósito de este documento es analizar los resultados de las diferentes simulaciones y realizar mejoras en el proceso en caso de ser posible. De esta forma, se tratará de aproximar la simulación para obtener la mejor pieza posible.

El programa de simulación también ofrece unos resultados para una buena elección de la prensa necesaria para la embutición de la pieza, por lo tanto, se harán los cálculos correspondientes para obtener un tonelaje de la prensa correcto.

3.2. PREPARACIÓN DE LA MATRIZ PARA LA EMBUTICIÓN

Comenzamos desde el principio de este proceso: el cliente nos envía la pieza que quiere producir en serie. En este caso se trata de un capo de coche que se conseguirá tras varios troquelados, un cortador que nos proporcionará la forma necesaria para posteriormente embutir la pieza y conseguir la pieza final.

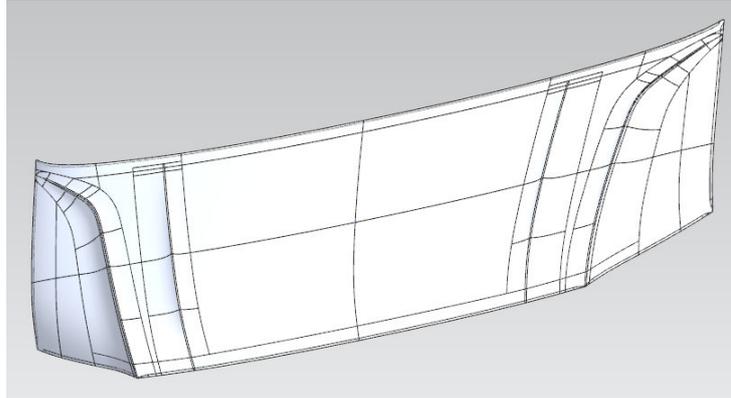


Foto 1. Pieza final.

La pieza la vamos a transformar en una matriz apta para el proceso a través de la herramienta de SIEMENS, CAD UNIGRAPHICS NX 10.0, y posteriormente cambiarla a un formato que podamos trabajar con la herramienta de estampación PAM STAMP 2012.1.

Para generar un archivo con el que PAM STAMP 2012.1 pueda trabajar, tenemos que extraer una superficie ya que necesitamos una superficie sin espesor.

Aparte de generar una superficie tenemos que crear una zona en la que la chapa vaya apoyada alrededor del perímetro, para que sirva de entrada de la chapa. Para ello se le asignan unos radios de entrada, para que así la chapa fluya de manera adecuada. En la parte plana añadida a través del perímetro de la chapa será la zona de acción del pisador y la superficie donde estará ubicados los frenos, por lo tanto, debe de ser lo suficientemente grande como para que las marcas que hacen éstos sobre la chapa no se introduzcan dentro de la pieza a fabricar.

En la siguiente imagen, se muestra la primera opción de matriz, preparada para el proceso de simulación mediante el software de simulación y su posterior diseño del troquel.

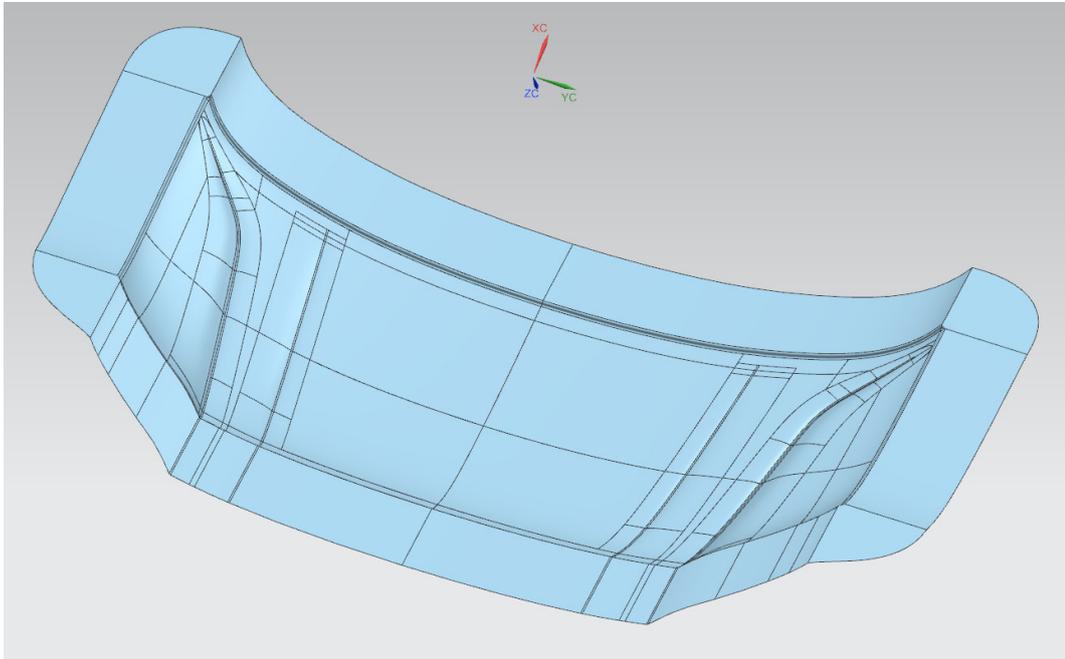


Foto 2. Diseño matriz inicial.

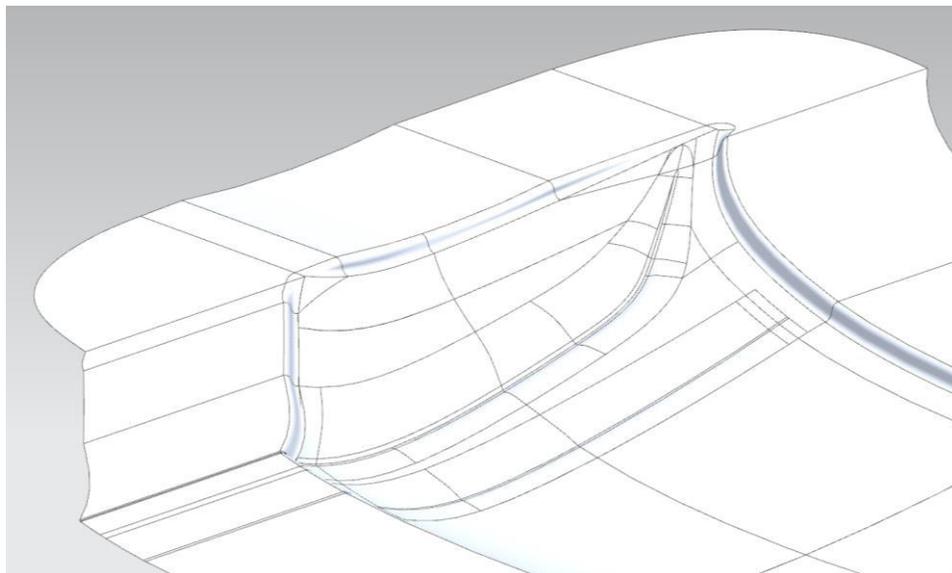


Foto 3. Diseño matriz final.

3.3. DIAGRAMAS FLD Y CURVAS FLD

Los diagramas FLD (Forming Limit Diagram) constituyen un mapa de deformaciones que muestra el inicio de la estricción localizada para diferentes caminos de deformación. Su uso está ampliamente generalizado, tanto a efectos comparativos entre distintas calidades de aceros, como para su utilización como criterio de fallo en la simulación en elementos finitos del conformado de componentes estructurales. Su elaboración experimental es muy delicada, por lo que, necesita de amplia experiencia y de un número elevado de ensayos.

Estos diagramas indican las deformaciones existentes en diferentes condiciones de tensión y/o deformación, desde un estado de tensión uniaxial, situado en la zona izquierda del diagrama, a un estado de deformación biaxial ubicado en la zona derecha. En este diagrama se dibuja una curva FLC (Forming Limit Curve), la cual, indica cuando el material empieza a sufrir la estricción y, por tanto, su posterior rotura. Las curvas FLC se pueden obtener a partir de cálculos teóricos mediante propiedades mecánicas del material y se comparan con las obtenidas en ensayos de estirado.

Los materiales metálicos pueden ser deformados sólo hasta un cierto nivel antes de que aparezca un adelgazamiento o estricción y su posterior rotura, de forma que, dependerá de la combinación de las deformaciones impuestas. En el caso del conformado de chapas metálicas (productos planos), las deformaciones se suelen medir en el plano de la chapa, dado que, las variaciones en el espesor son difíciles de medir con precisión. Por lo tanto, cuando se habla de la relación de las deformaciones se hace referencia a la mayor y menor que se producen en el plano de la chapa. El nivel más bajo de deformaciones sin que la pieza adelgace o rompa se presenta para un estado de deformación plana, o sea, cuando la menor de las deformaciones es cero.

A principios de 1963, un estudio del fallo producido en chapas estiradas biaxialmente por Keeler y Backofen mostró la existencia de lo que es conocido como Forming Limit Diagrams (FLDs). El principal descubrimiento era que la deformación principal mayor antes de cualquier estricción localizada en una

chapa aumentaba con el aumento del grado de biaxialidad. Los ensayos incluían chapas de acero, cobre, latón y aluminio estiradas mediante un punzón. Más tarde, Keeler encontró que las propiedades de los materiales tienen un gran efecto en la distribución de la deformación en el estirado biaxial de una chapa. Señaló que, cuando el coeficiente de endurecimiento n es alto, la distribución de deformaciones será relativamente homogénea. Por el contrario, materiales con coeficiente de endurecimiento bajo desarrollan un gran gradiente de deformación y ésta se concentra en una pequeña región, causando un fallo prematuro. Construyó un mapa de deformaciones principales (ϵ_1, ϵ_2) en el que separaba los estados de deformación seguros de los estados de deformación que podían producir un fallo prematuro. Por definición, ϵ_1 es la deformación mayor principal, y ϵ_2 es la deformación menor principal, es decir, los diagramas FLD muestran la combinación, en el plano principal, de las deformaciones mayor y menor en las que más allá de las cuales ocurre el fallo. Goodwin completó la idea investigando la zona de deformaciones tracción-compresión, aunque su criterio de falla fue la aparición de la fractura.

Debido a la contribución de Keeler y Goodwin para entender la conformabilidad de los materiales, el desarrollo de FLDs para la estampación de aceros al carbono es a menudo referido como diagramas Keeler-Goodwin. Los diagramas FLDs cubren estados de deformación desde tensión uniaxial a través de un estado de deformación plana y deformación biaxial. Desde entonces, los diagramas FLD han sido ampliamente utilizados para estudiar la conformabilidad de chapas metálicas.

En estos diagramas se traza la curva FLC (Forming Limit Curve), la cual, define la máxima conformabilidad de un material en el diagrama FLD y es utilizado ampliamente como criterio de fallo o de principio de la estricción. Esta curva define la zona del diagrama FLD, bajo la cual, las deformaciones no generan rotura del material. Así, la combinación de deformaciones ϵ_1, ϵ_2 que quedan bajo la curva se realizan sin que el material llegue al límite de deformación, mientras que, si esta combinación da un punto por encima de esta curva FLC, probablemente dicha combinación de deformaciones sí que llegará a romper el material. Cuando los puntos se aproximan mucho a la curva existe el

riesgo de estricción localizada o incluso de fractura. No obstante, las curvas FLC no caracterizan completamente el comportamiento del material cuando este se deforma, ya que a éste también le afectan otros parámetros de la operación de conformado como pueden ser las condiciones de los útiles o la lubricación.

En las operaciones de conformado de chapa, la cantidad de deformación útil está limitada por la deformación inestable, la cual, principalmente se presenta con estricción localizada que es producida a través del adelgazamiento del espesor terminando en fractura final.

Durante el proceso de conformado, el material puede adelgazarse o incluso aumentar de espesor en determinadas zonas. En lugar de medir dicho adelgazamiento directamente, éste se puede determinar a través de una malla aplicada sobre la superficie de la chapa, considerando que, durante la deformación, el volumen se mantendrá constante. Generalmente, esta malla se aplica sobre la superficie de la chapa usando técnicas fotoquímicas o electroquímicas pudiendo ser ésta de diversa naturaleza: círculos, cuadrados, etc., siendo la más comúnmente utilizada la formada por círculos. Esto permite determinar a simple vista la dirección de las deformaciones principales, que son aquéllas en que están orientados los dos ejes de la elipse en que se convierte un círculo después de la deformación.

Tanto las mallas impresas, como las obtenidas por técnicas fotográficas pueden ser borradas con cierta facilidad durante el conformado, por lo cual, se prefieren en general, las mallas aplicadas por ataque químico.

Cuando el material se conforma, la deformación en la superficie transforma los círculos en elipses. Diferentes modos de deformación generan diferentes ratios entre el eje mayor y el eje menor de las elipses mostrando las dos principales direcciones de la deformación en el plano de la chapa.

Una vez el material está conformado existen diferentes sistemas para determinar la deformación de la malla de círculos: manualmente, a través de bandas de medida o microscopio, o de forma automática, gracias a sistemas automáticos de medida de deformaciones a través de imágenes de la pieza. Tras

la determinación de las deformaciones mayor y menor en los diferentes puntos del elemento conformado, éstas se representan en el diagrama FLD.

Este sistema que se hace de manera manual conllevando muchas horas de trabajo es lo que se ha conseguido que realice el software de simulación Pam Stamp obteniendo las gráficas FLD virtualmente de manera más o menos sencilla y tardando menos tiempo. Además, el programa da la opción de escoger la distancia deseada entre puntos de la malla de círculos que se aplica sobre la chapa, para adquirir un estudio de la embutición más o menos exactitud según convenga en cada caso.

Para determinar la curva FLC del material, generalmente se deforman probetas malladas de diferentes anchuras o se realizan diferentes tipos de ensayos para conseguir diferentes condiciones de deformación, que aporten puntos al mayor número de zonas del diagrama posibles. Las probetas se deforman hasta el punto de estricción localizada o inicio de la rotura. Tras los ensayos se miden las deformaciones de la malla en los alrededores de la fractura, aunque fuera de la zona de estricción localizada, obteniendo los valores de ϵ_1 y ϵ_2 en cada punto que representan diferentes valores de deformación. Éstos, una vez representados en el diagrama FLD, dan la curva de límite de conformabilidad o fluencia, FLC, del material ensayado.

La conformabilidad de las chapas metálicas está influenciada por algunos factores físicos, de los cuales, unos de los más importantes son el coeficiente de endurecimiento **n**, la sensibilidad a la velocidad de deformación **m**, anisotropía plástica **R**, el desarrollo de daño estructural, la deformación en el plano y fuera del plano y el camino de deformación. Generalmente, las curvas FLC de los aceros tienen

esencialmente la misma forma. Las diferencias suelen ser en su posición vertical en el diagrama, la cual, está determinada por el coeficiente de endurecimiento por deformación y el espesor del material. En la siguiente figura se muestra esquemáticamente la forma de una curva FLC para un material con un valor elevado de **n** y otro con un valor pequeño de **n**.

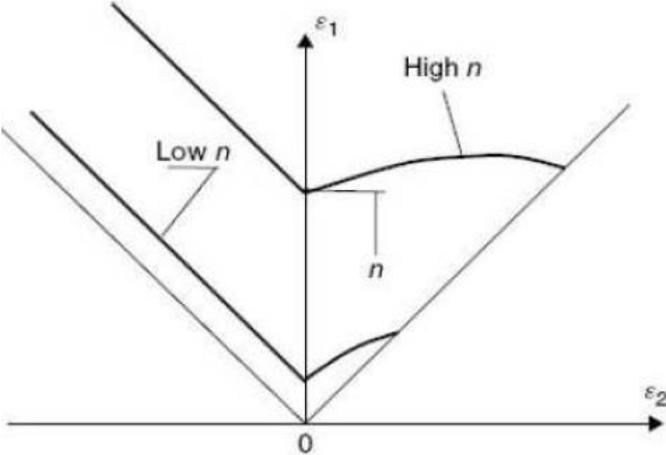


Foto 4. Diagrama FLD general.

3.4. MATERIAL DE LA CHAPA

Es de gran importancia elegir bien el material de la chapa que se va a utilizar para la embutición, ya sea por parte del cliente o por parte del proyectista, ya que puede facilitar mucho el diseño del troquel e incluso ahorrarse una segunda embutición con un segundo troquel para poder llegar a la pieza final. Para ello, hay que tener en cuenta la textura cristalográfica del acero laminado, ya que al realizar estas embuticiones a muy baja velocidad se consigue que los cristales de la chapa, los cuales presentan una alta simetría, se desplacen unos respecto de los otros.

La anisotropía plástica en los metales presenta una fuerte dependencia con respecto al desarrollo de textura en los procesos de transformación, ya sea por procesos tales como solidificación, deformación, recristalización o transformaciones de fase. Consecuentemente, la respuesta mecánica del material queda fuertemente condicionada por la textura cristalográfica y morfológica desarrollada durante estos procesos de transformación, en particular referidos a procesos de laminación de chapa en frío. El comportamiento anisotrópico de productos planos puede caracterizarse por medio del coeficiente de Lankford o coeficiente de anisotropía R , el cual representa la capacidad del material para acomodar la deformación plástica en el plano de la chapa. En general, las propiedades de embutibilidad del material se describen a través del conocimiento de estos coeficientes, específicamente del valor de R a 0° (R_0), 45° (R_{45}) y 90° (R_{90}) de inclinación respecto de la dirección de laminado original de la chapa. Valores de anisotropía plástica planar lo más pequeños posibles y valores de anisotropía plástica normal elevados constituyen, en general, un buen indicador de alta conformabilidad. El coeficiente de anisotropía plástica normal está asociado a una buena embutibilidad, mientras que, la anisotropía plástica planar describe la tendencia del material a la formación de orejeado en procesos de embutido.

Por todo esto y debido a la complejidad de embutición de la pieza, se realizan varias simulaciones con diferentes materiales que posteriormente se analizan para poder elegir la mejor embutición. Como conclusión se ha elegido el acero FeP05 de la biblioteca de materiales que lleva adjunta Pam Stamp.

De todas formas, para poder localizar mejor el material se expone las equivalencias de los aceros entre diferentes normas:

EN 10130 (98)	EN 10130 (2006)	DIN 1623/1 (83)	NF A 36-401 (98)	BS 1449/1 (91)	ASTM	JIS G 3141 (96)
DC01	FeP01	St 12	C	CR4	A 366 CQ	SPCC
DC03	FEPO3	RRSt 13	E	CR2	A619 DQ	SPCD
DC04	FeP04	St 14	ES	CR1	A620 DQSK	SPCE
DC05	FeP05	(St 15)	SES	-	-	-
DC06	FeP06	IF 18	-	-	-	-
DC07						

Tabla 1. Equivalencias entre normas.

Las propiedades mecánicas y composición química del material elegido se pueden obtener de las siguientes tablas:

GRADE	C% max	Mn% max	P% max	S% max	Alt% min	Ti max
FeP05	0.06	0.35	0.025	0.025	0.015	0.20

Tabla 2. Composición química de acero FeP05.

STEEL GRADE	Tensile Strength	Yield Strength max	Elongation min.				r	n
			<0.70	0.70-<1.0	1.0-<1.6	>=1.6	min	min
FeP05	270-330	180	38	39	40	41	1.9	0.20

Tabla 3. Propiedades mecánicas de acero FeP05.

Se puede observar en las tablas que el acero seleccionado tiene unos coeficientes de endurecimiento n_{90} y de anisotropía plástica r_{90} elevados, lo cual garantizará una buena embutibilidad.

3.5. CÁLCULOS INICIALES

En realidad, no se requieren apenas cálculos iniciales, para comenzar la simulación necesitaremos unos valores aproximados que posteriormente modificaremos para obtener una simulación adecuada. El propio software realizará todos los cálculos mediante elementos finitos y en base a los resultados modificaremos los datos de entrada hasta optimizar el proceso.

Una vez conocido el material de la chapa y la geometría de la pieza a fabricar se parte de una matriz diseñada en el software de CAD Unigraphics NX10, la cual, se exporta en el formato correspondiente para que el Pam Stamp lo reconozca, en este caso .IGS. El único dato inicial que se pide para poder hacer la simulación en Pam Stamp es la fuerza ejercida por el pisador y su desplazamiento, pero éste último bastará con darle una distancia suficiente como para que, en el instante, en el cual, la matriz haga contacto completo con el pisador, la chapa no esté tocando con el punzón en ningún punto. Si se introdujera un freno, también habría que tener en cuenta la fuerza resistente ejercida por éste.

A partir de la fuerza del pisador y mediante la cinemática del movimiento de los diferentes elementos, el propio software se encarga de proporcionar todas las variables del proceso de embutición, ya sean fuerzas de contacto, presiones, tensiones, energía, etc. Es por ello por lo que, únicamente, se hará un precálculo de la fuerza necesaria en el pisador de forma aproximada.

No se exige gran precisión para dicho precálculo, ya que, tal y como se verá posteriormente, la fuerza del pisador se irá ajustando en función de los resultados obtenidos en las simulaciones. Además, esta fuerza cambiará a la hora de incluir un freno entre la matriz y el pisador en dichas simulaciones, ya que éste genera una fuerza resistente en el proceso de la embutición oponiéndose al movimiento de la chapa estirando ésta aún más.

Para calcular la fuerza necesaria del pisador, primero hay que calcular la fuerza de corte máxima que resiste el material de la chapa, ya que la fuerza del pisador será un diez por ciento menor que dicha fuerza de corte para evitar que

la chapa rompa en la embutición. Para ello, se utilizará la siguiente expresión, que servirá solamente como punto de partida:

$$F_c = P_{ch} \cdot e_{ch} \cdot \tau_{adm\ mat}$$

Donde:

- F_c = Fuerza de corte (N)
- P_{ch} = Perímetro del desarrollo de la chapa (mm)
- e_{ch} = Espesor de la chapa (mm)
- $\tau_{adm\ mat}$ = Tensión cortante admisible del material (N/mm²)

Los datos son los siguientes:

- $P_{ch} = 5119\text{ mm}$
- $e_{ch} = 0.7\text{ mm}$
- $\tau_{adm\ mat} = 170\text{ N/mm}^2$
- $n_{90} = 0.2$
- $r_{90} = 1.9$

Por tanto, la fuerza de corte obtenida es:

$$F_c = 609161\text{ N} = 609.61\text{ kN}$$

Para obtener la fuerza del pisador se hará la siguiente operación:

$$F_p = 0.9 \cdot F_c = 0.9 \cdot 609.61 = 548.649\text{ kN}$$

Se fija como fuerza máxima que ejercerá el pisador aproximadamente 550 kN, Pero tal y como se comprobará posteriormente en las simulaciones, este valor es muy insuficiente ya que se verá que se forman arrugas y, por lo tanto, habrá que aumentar esta fuerza para que estas desaparezcan. El problema de aumentar la fuerza del pisador es que la chapa se romperá por alguna zona,

considerando la necesidad entonces, de introducir uno o varios frenos y su correspondiente fuerza resistente, con lo cual, habrá que realizar varias simulaciones para llegar a un valor adecuado, tanto de fuerza del pisador, como de fuerza de frenos y conseguir una pieza final válida.

No es necesario realizar ningún otro cálculo inicial, ya que la fuerza del pisador es la única variable que hay que introducir en Pam Stamp para que pueda comenzar la simulación, además de la variable, ya comentada, del desplazamiento del pisador. También, se tendrá en cuenta el valor de las fuerzas ejercidas por el freno cuando éste se incluya en las simulaciones.

Todas las demás magnitudes las calculará el programa automáticamente basándose en las condiciones cinemáticas del proceso, las propiedades del material de la chapa escogido, el espesor y la geometría de ésta, etc. Es por ello por lo que, en los siguientes apartados se comienza a analizar las diferentes simulaciones realizadas.

3.6. PREPARACIÓN DE LA SIMULACIÓN

Antes de proceder a exponer las simulaciones realizadas, en las que únicamente se mostrarán y se analizarán los resultados, hay que comentar el modo, por el cual, se ha conseguido llegar a obtener dicho estudio.

Una vez hayamos obtenido la matriz gracias al software de CAD Unigraphics NX10, debemos exportarla en formato .igs para poder trabajar en PamStamp con ella. Una vez la tengamos exportada, lo primero que hay que hacer es crear un proyecto nuevo en PamStamp.

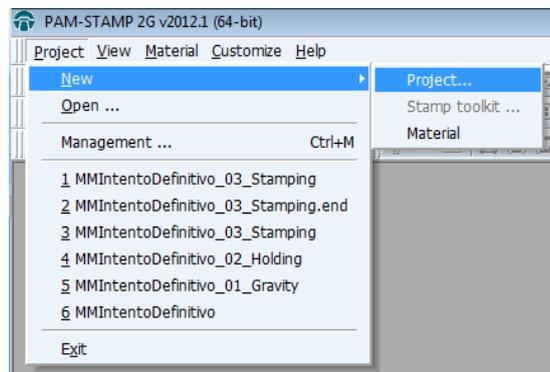


Foto 5. Nuevo proyecto PamStamp

Guardamos el proyecto donde queramos en el ordenador. Una vez creado el proyecto sale esta ventana.

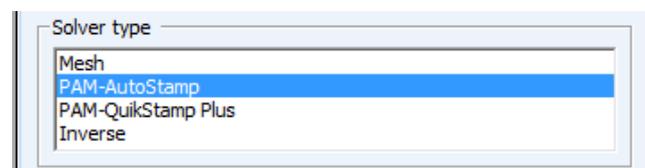
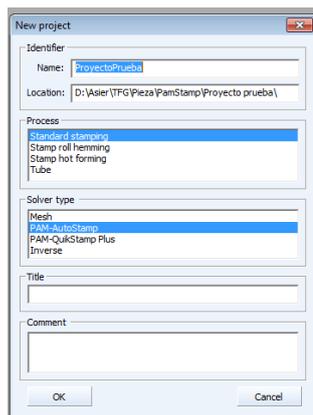


Foto 6. Tipo de proyecto en PamStamp Foto 7. Zoom a Tipo de análisis.

En las dos primeras líneas se nos pregunta la ubicación y el nombre del archivo. Después se nos dan unas opciones, entre las cuales vamos a elegir

Standard Stamping, que es con lo que vamos a trabajar. En el segundo recuadro nos sales diferentes funciones del estampado estándar las cuales se van a explicar brevemente:

- Mesh: Opción indicada para el diseño de una malla o matriz partiendo de la pieza final.
- Inverse: Basado en el concepto de ingeniería inversa, realiza una estimación del material necesario para el conformado de la pieza partiendo de la matriz final.
- Quick Stamp Plus: herramienta de estimación, sirve para la realización de las primeras pruebas, realiza una simulación rápida de la embutición, pero de una forma menos exacta que el siguiente tipo.
- AutoStamp: de la misma forma que Quick Stamp, Auto Stamp realiza una simulación de la embutición, pero de una forma más exhaustiva que el anterior y también más lenta. Se utiliza cuando ya se han realizado las pruebas de diseño y se necesita validar completamente la pieza.

Se seleccionará la más adecuada a cada situación, en este caso se seleccionará AutoStamp ya que queremos una simulación completa del proceso de estampación.

Una vez elegidas las opciones con las que va a trabajar PamStamp, se nos muestra la pantalla principal del programa.

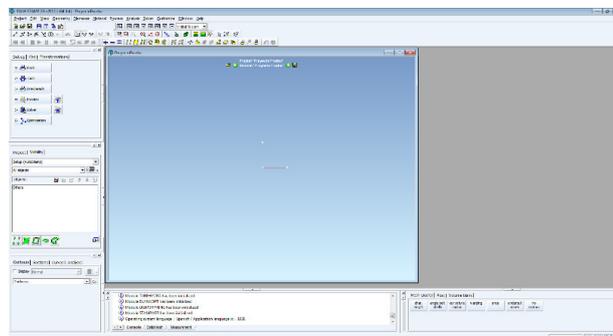


Foto 8. Pantalla inicial PamStamp.

3.6.1. Importar matriz

Ahora tenemos que importar la pieza, para poder trabajar con ella. Para ello usaremos la carpeta que aparece en la ventana azul, y pincharemos en la opción de "Import tools CAD"



Foto 9. Importar un modelo a PamStamp.

Una vez hecho esto seleccionaremos el archivo correspondiente que previamente hemos creado. Cuando lo hagamos nos aparecerá una nueva ventana, que dirá así:

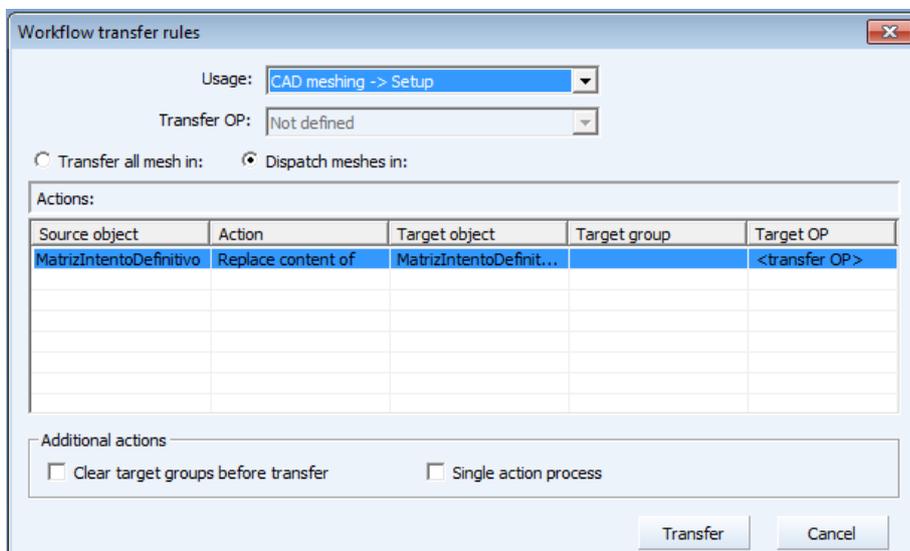


Foto 10. Selección de función del CAD importado.

Haciendo doble clic sobre "Target group" seleccionaremos la función que va a desenvolver la pieza creada dentro de la simulación. En nuestro caso se trata de la matriz, con lo cual elegiremos la opción de "Die".

Una vez hemos seleccionado esto pinchamos la opción de "Transfer", y ya tendremos nuestra pieza importada al programa de simulación.

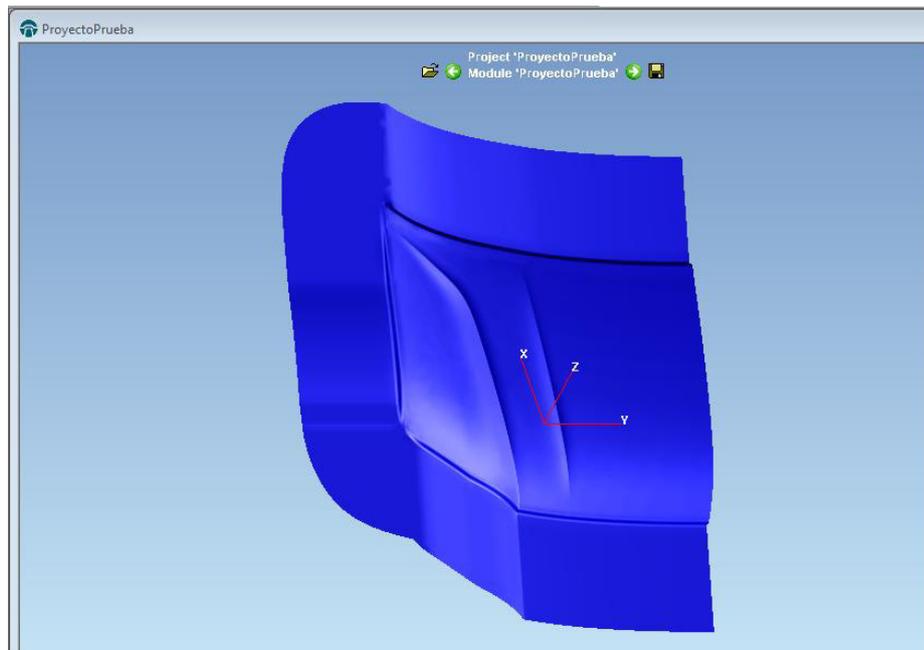


Foto 11. Pantalla principal con pieza importada.

Se importa solo media matriz, lo cual, agilizará mucho los cálculos debido a que el programa trabajará con la mitad de los elementos que si pusiésemos una matriz entera. Por supuesto tendremos que añadir un plano de simetría, con el cual el programa sabrá que la otra mitad de la matriz es exactamente igual.

3.6.2. Plano de simetría

Para añadir este plano de simetría, tendremos que ir al recuadro lateral de "Objects" hacer clic derecho sobre cualquiera de los objetos y seleccionar la opción de "Add a new object".

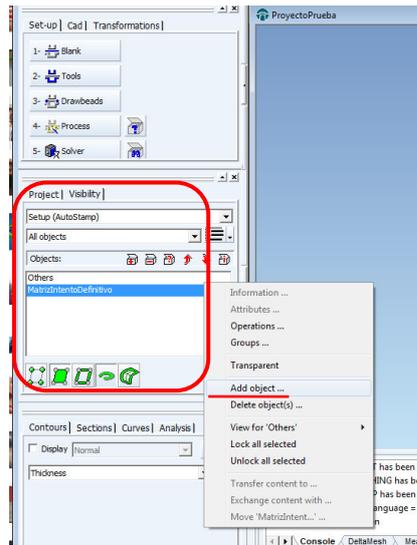


Foto 12. Menú de elementos PamStamp.

Tras eso, hay que determinar qué es lo que quieres crear y, además, ponerle un nombre.

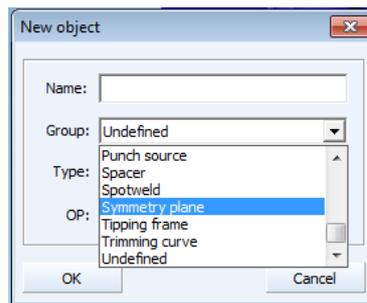


Foto13. Menú de selección de tipo de elemento.

A la hora de crear el plano, nos da varias opciones para crearlo, de hecho, hay cuatro: Un punto y la normal del plano en ese punto, un punto y un plano principal, dos puntos y un vector y mediante tres puntos. Cualquiera de estas opciones es válida para crear el plano, pero por simplificar, se utiliza la opción de tres puntos ubicados en el borde, donde ira colocado el plano de simetría, estando estos puntos a diferentes alturas con el fin de que no formen una línea recta.

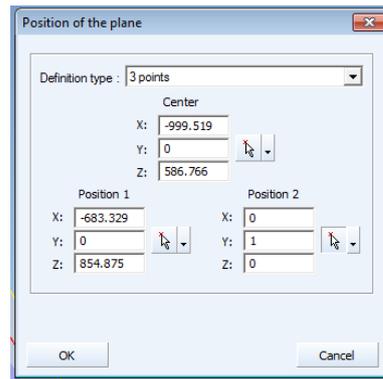


Foto 14. Creación de plano de simetría.

3.6.3. Sistema de coordenadas auxiliar

Una vez tenemos el plano de simetría procedemos a crear el sistema de coordenadas que se va a utilizar durante la simulación, que tendrá la +Z en dirección de la gravedad y dirección de avance de la matriz. Para ello como se ha hecho previamente con el plano de simetría se creará un nuevo objeto, pero en este caso debemos buscar el objeto de "Coordinate System".

Como en el caso anterior tenemos que ponerle un nombre al objeto y tras ello nos aparecerá la siguiente ventana.

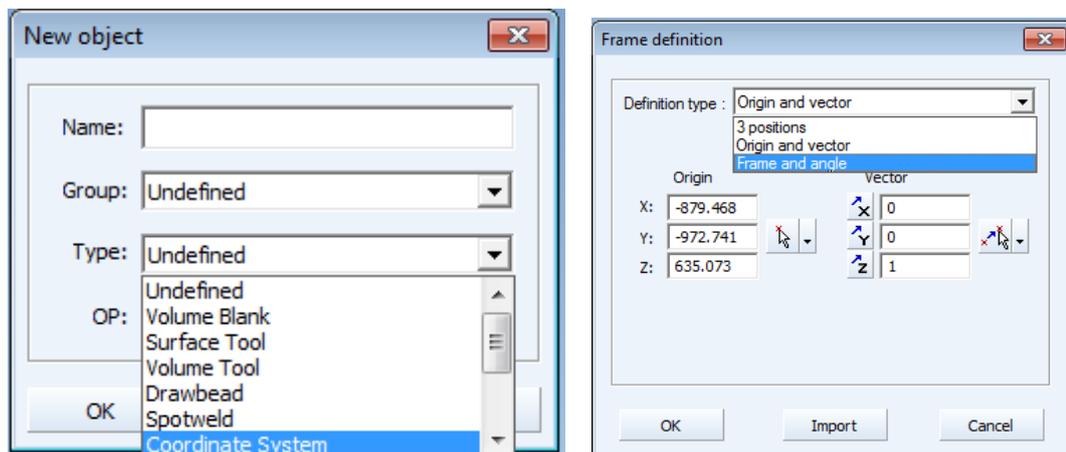


Foto 15. Menús creación elemento y de sistema de coordenadas auxiliar

En este caso tenemos tres opciones para crear el nuevo sistema de coordenadas. Como solo queremos girar el sistema de coordenadas para obtener uno en la dirección que nos interesa, seleccionaremos la opción de

"Frame and angle" en la cual estableceremos una rotación que queramos al sistema de coordenadas original. Para obtener lo que deseamos se girara 150.1974° sobre el eje Y. Para ello debemos cambiar el eje a "Y", y escribir el ángulo que deseamos girarlo. Posteriormente se selecciona "Set rotation" y "OK" para finalizar la operación.

Con esto conseguimos un sistema de coordenadas en el que +Z coincide con la gravedad y un plano de simetría que nos evitara gran coste computacional.

3.6.4. Orientar elementos de la matriz

Ahora debemos orientar todos los elementos en dirección a +Z o lo que es lo mismo en la dirección donde va a estar el punzón más adelante. Para ello debemos, lo primero visualizar esas normales de los elementos, que conseguiremos con la siguiente opción.

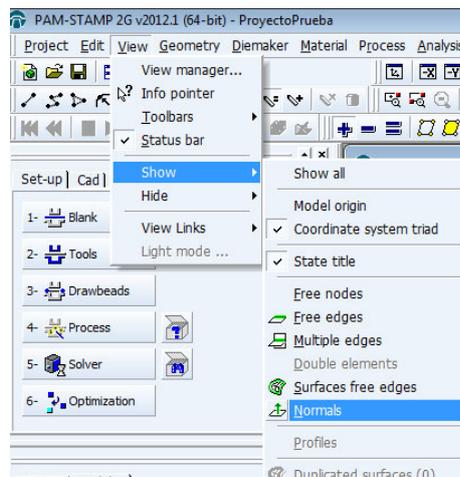


Foto 16. Visualización de normales de elementos.

Ahora nos quedara la matriz con muchas flechitas dibujada sobre ella, mas o menos de la siguiente forma.

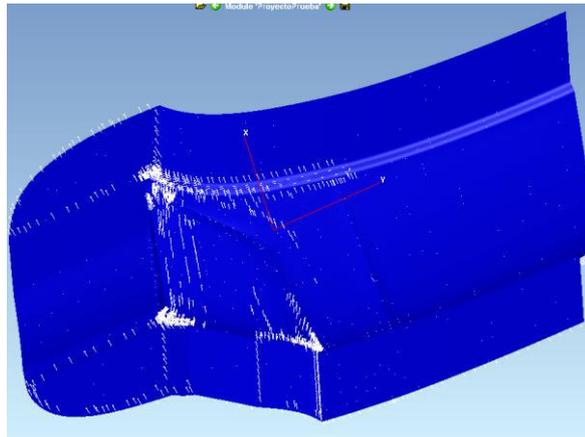


Foto 17. Vista de normales de elementos sobre la pieza.

Para orientar todos los elementos primero debemos seleccionarlos todos, y para ello hay un botón con forma de botijo.



Foto 18. Menú selección PamStamp

Esta barra de herramientas nos va a ser bastante útil, ahora debemos seleccionar en botijo con la flecha que apunta hacia dentro, para así seleccionar todos los elementos. Una vez hecho esto la matriz se ha vuelto grisácea señal de que vamos bien.

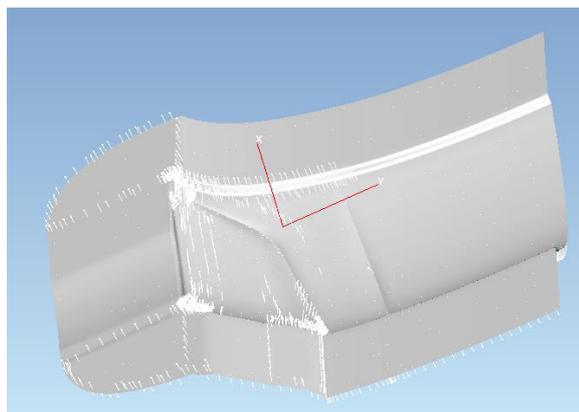


Foto 19. Todos los elementos seleccionados en la pieza.

Ahora debemos orientar los elementos, que conseguiremos con la siguiente función:

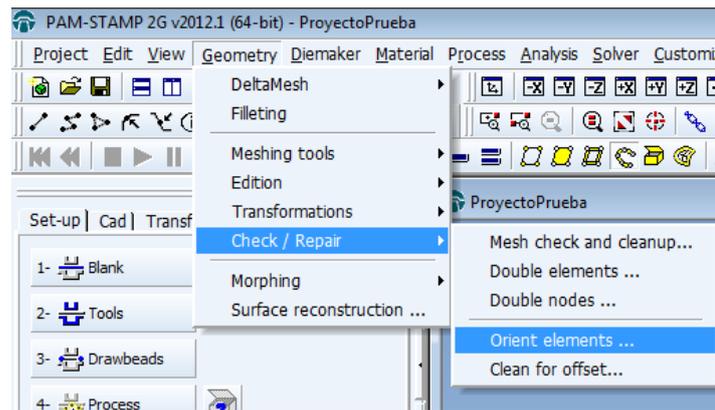


Foto 20. Menú orientación elementos.

Seleccionando esa opción, nos aparece una ventana nueva. Para orientar los elementos debemos elegir cualquiera de ellos. Aparecerá un recuadro verde, indicando elemento seleccionado.

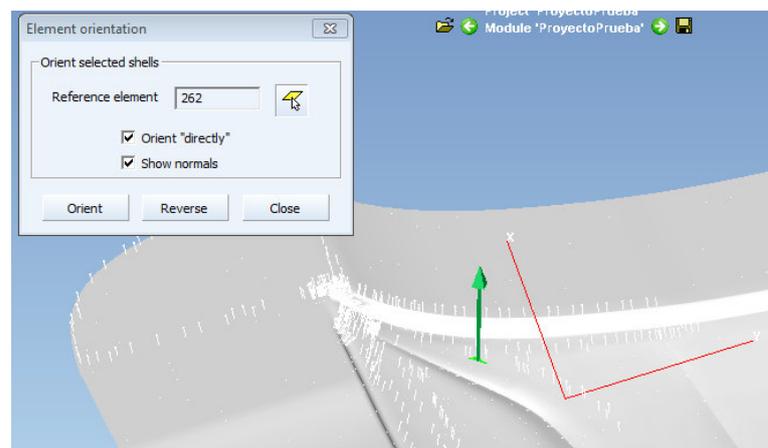


Foto 21. Menú orientación elementos.

Pinchando en "Reverse" todos los elementos cambiarán de dirección, posicionándose en contra de lo que están ahora mismo. En su defecto pinchando en "Orient" todos los elementos se orientarán en la misma dirección que el elemento seleccionado. En este caso simplemente pincharemos en "Orient" ya que ese elemento tiene la dirección deseada.

Como resultado se obtienen todos los elementos de la matriz apuntando hacia la misma dirección, tal y como se ve en la siguiente imagen.

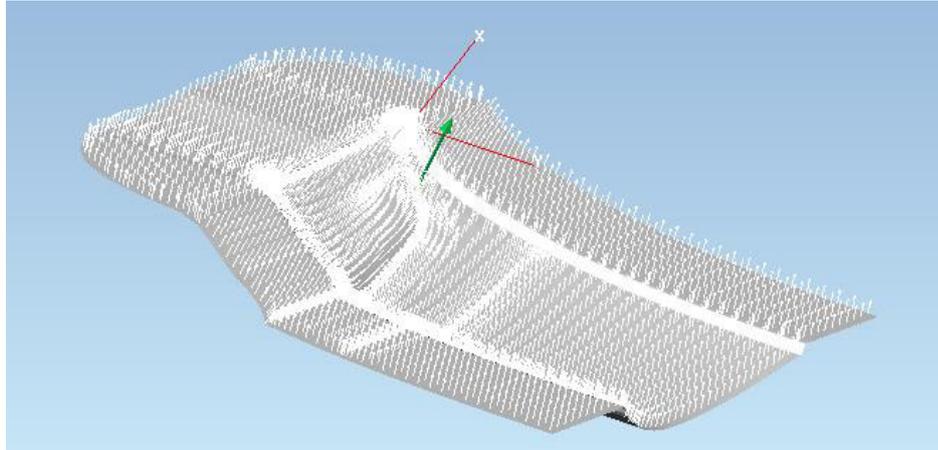


Foto 22. Todos los elementos orientados en la misma dirección.

Para deseleccionar la matriz solo debemos clicar el botijo con la flecha saliente del mismo, y para ocultar las normales hacer clic en el mismo botón que lo hicimos para mostrarlas. De esta forma podremos empezar a trabajar cómodamente.

3.6.5. Definir partes de la matriz

Ahora que todo está listo podemos empezar a trabajar en la creación de la matriz, punzón, pisador, chapa, frenos y diseño del troquel. Para ello, utilizaremos la barra de herramientas antes mencionada.



Foto 23. Menú selección PamStamp

En este caso, vamos a seleccionar la opción marcada, para así poder ir seleccionando zonas que se convertirán en punzón y pisador de nuestra matriz. Primero seleccionara la zona de acción del pisador hasta tener algo similar a la imagen.

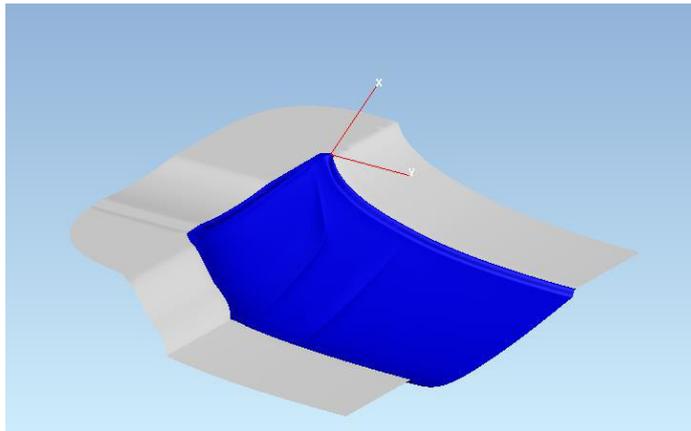


Foto 24. Selección parcial de la pieza.

Haciendo clic derecho sobre la zona seleccionada, aparecerán unas opciones entre las cuales debemos pinchar "Add selection to object"

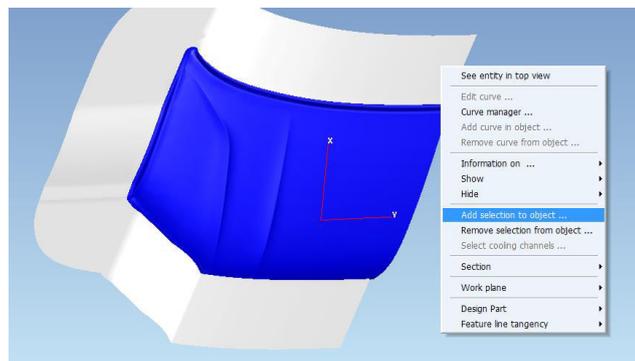


Foto 25. Crear objeto a partir de selección.

Al crear un nuevo objeto se nos preguntara un nombre para el mismo.

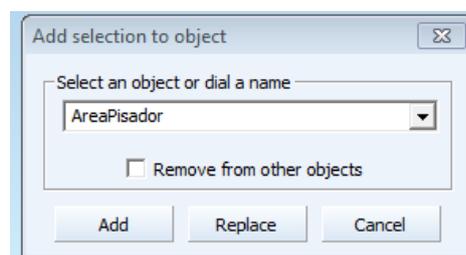


Foto 26. Definir nombre del nuevo objeto.

Al pinchar en "Add" se habrá creado en la ventana de "Objects" un nuevo objeto llamado, en este caso, "AreaPisador".

Debemos hacer lo mismo para el punzón. Una vez realizado ese proceso, todo lo que hemos hecho hasta ahora debería ser algo así.

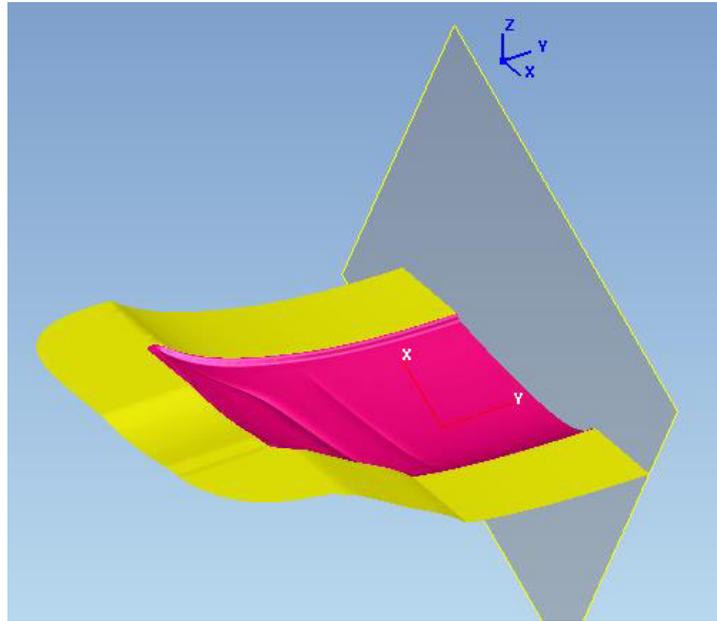


Foto 27. Resultado tras la creación de varios objetos.

Tras realizar las zonas que posteriormente se convertirán el punzón y pisador, debemos crear la chapa desde la que se va a partir para hacer el proceso de embutición. Para ello debemos ir a una zona del programa que aún no hemos entrado.

3.6.6. Crear la chapa (Blank)

Mediante esta ventana, crearemos la chapa de entrada (Blank), las herramientas para darle forma (Matriz, pisador y punzón), los frenos (Drawbeads), las variables que previamente se han calculado (Fuerza del pisador, distancia de acción del punzón) y el que da comienzo a la simulación (Solver).

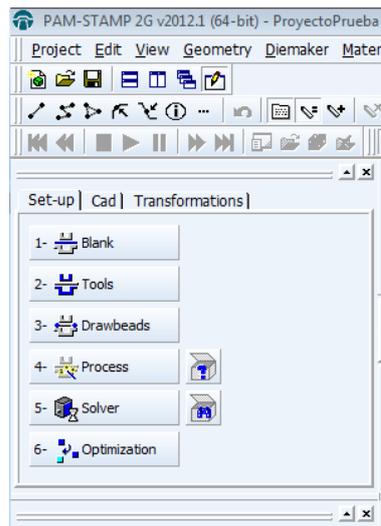


Foto 28. Menú "Set-up".

Iremos tocando cada uno de estos puntos según se vayan requiriendo, de hecho, el único punto que se podría dejar sin tocar es el de los frenos ya que no son siempre necesarios.

Comenzamos con la creación de la chapa. Para ello debemos pinchar el botón de Blank que nos abrirá una ventana con la opción de crear un nuevo "Blank". Pinchando en el plus que aparece, nos crea un "Blank" nuevo, y como siempre nos exige un nombre.

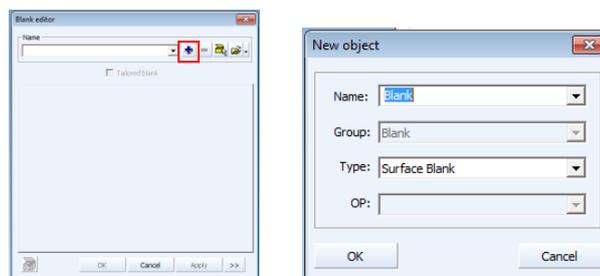


Foto 29. Ventanas 1 y 2 de diseño de chapa

Una vez creado en "Blank" entre los objetos, aparece una nueva ventana en la que deberán especificar las propiedades de la capa: forma, posición, material, espesor, dirección de laminación, mallado...

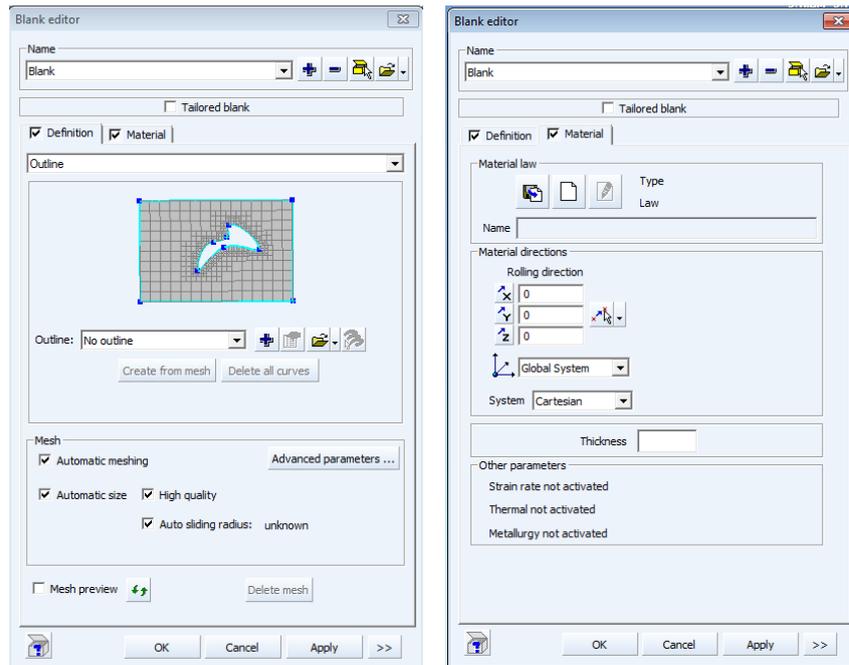


Foto 30. Pestañas 1 y 2 de Diseño de la chapa

En cada una de las dos ventanas se determinan diferentes opciones. En la primera debemos especificar la forma de la chapa, pinchando una vez más en el plus que aparece a lado de "Outline". Una vez pinchado, aparece esta nueva ventana:

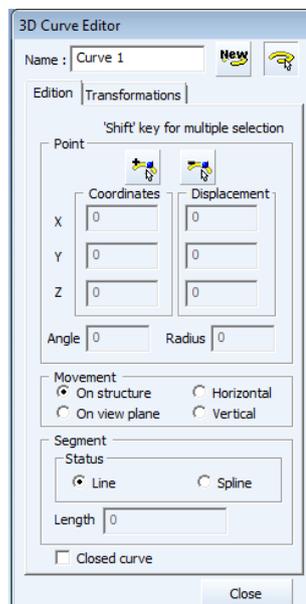


Foto 31. Editor de curvas PamStamp.

Mediante esta ventana de diseño de curvas 3D podremos darle al programa la forma que queremos que la chapa tome. Haciendo clic en el botón "New" que está en la parte de arriba comenzaremos el diseño de una nueva curva en 3D, en cambio con el botón que hay a su lado modificaremos una que ya esté creada. Los dos botones que están más abajo indican si queremos añadir nuevos puntos a la curva, o sin embargo queremos eliminar puntos de una curva.

Más abajo tenemos la opción de elegir donde se van a colocar los puntos: en una estructura (u objeto), en horizontal o vertical respecto del anterior punto, o en el plano que se está viendo actualmente. Más abajo se da la opción de que la curva creada sea una línea recta o en su defecto una curva (Spline).

Con esto crearemos el contorno de la chapa poco a poco intentando ubicar puntos cada poca distancia, sobre todo sobre el plano de simetría. Cuando acabemos deberíamos tener algo similar a la siguiente figura.

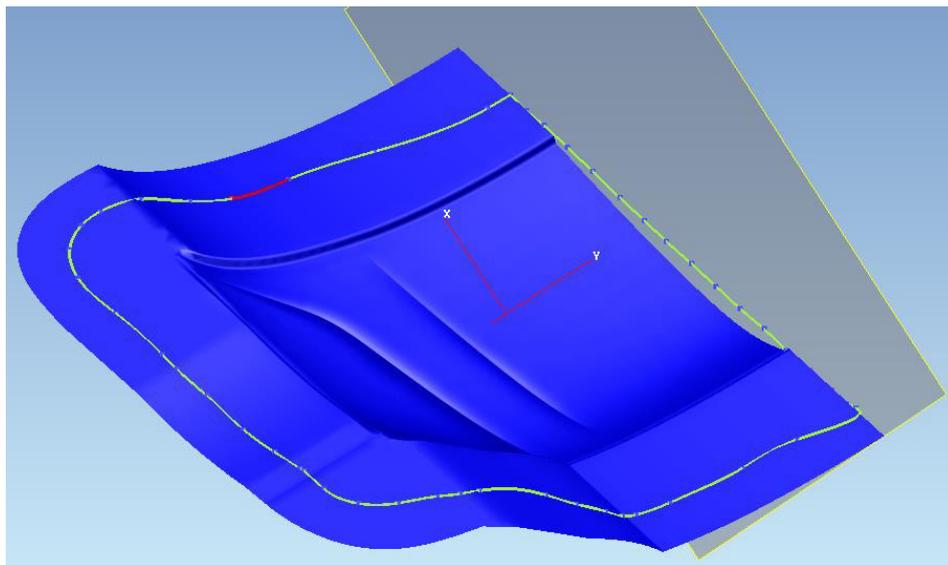


Foto 32. Contorno de la chapa.

En la ventana de "Material" se debe definir el material que será el acero "FeP05_0,7mm" que ya se ha especificado en la memoria. Hay que rellenar también el recuadro de "Thickness" que será, en este caso, de 0,7mm.

3.6.7. Crear las herramientas (Tools)

Una vez se ha creado la chapa que se va a embutir y las herramientas que vamos a utilizar se deben crear en el programa las herramientas para que el programa las determine como lo que se va a utilizar para hacer el cálculo.

Para ello se debe entrar en la siguiente opción que nos da el programa, "Tools".

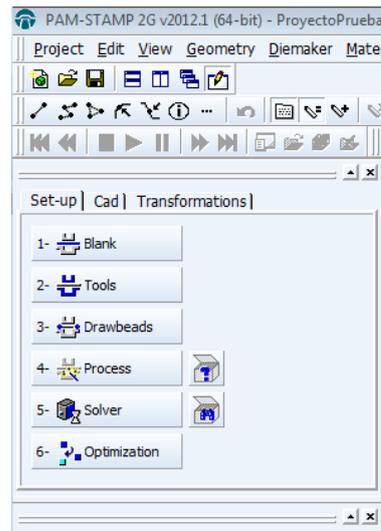


Foto 33. Menú "Set-up".

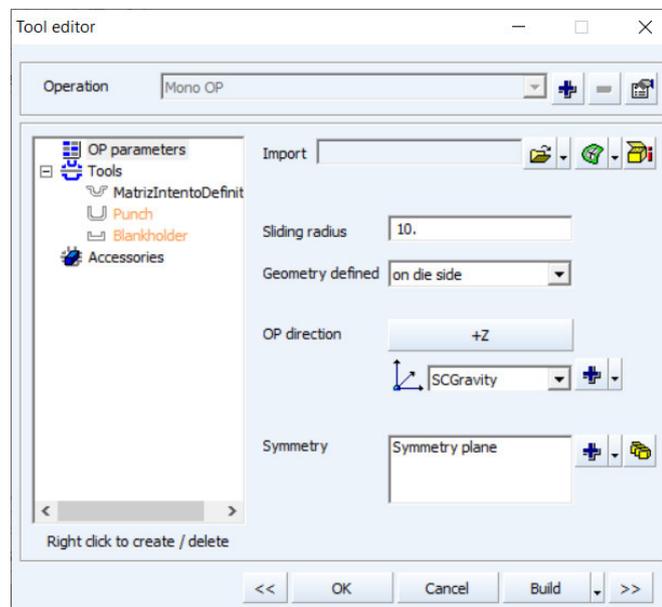


Foto 34 Diseño de herramientas "Tools" 1

En el menú de “OP parameters” se debe incluir el radio de deslizamiento, en este tipo de matriz un valor de 10 es correcto. “Geometry defined” se deja “on die side”. “OP direction” se refiere a la dirección de la gravedad, se elige la dirección (eje y dirección) en la que actuará la gravedad. En este caso al ser un sistema diferente al predeterminado ya se ha creado previamente y es el que se va a elegir. Por último, en este desplegable, se debe seleccionar planos de simetría si los hay. En esta simulación se han hecho para reducir el coste computacional de la operación por lo tanto clicando el botón de la triple caja amarilla da la opción de elegir el plano.

En el menú “Tools” aparecerá la siguiente ventana en la que se va a elegir si se quiere simular como una matriz de simple efecto, simple efecto con expulsor, doble efecto, doble efecto con expulsor. Se elegirá una de estas opciones que son las más utilizadas en el ámbito de la troquelaría.

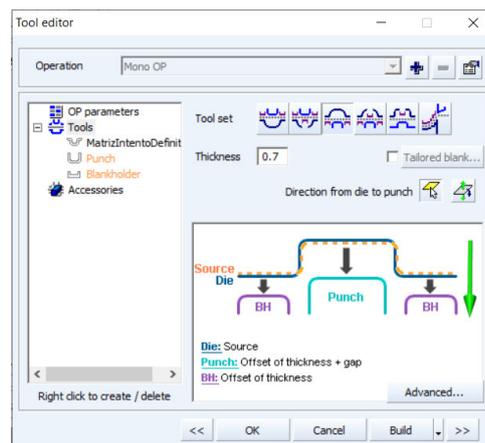


Foto 35. Diseño de herramientas “Tools” 2

En este caso se va a utilizar una prensa de simple efecto ya que son las más comunes para embuticiones de un único golpe. Además, se determina el grosor de la chapa que se va a conformar.

En este menú, habiendo elegido el tipo de simulación que vamos a realizar, El programa va a pedir que se definan tanto el punzón como el pisador, la matriz ya está definida porque es el elemento que se ha incluido para realizar el resto de las partes del troquel.

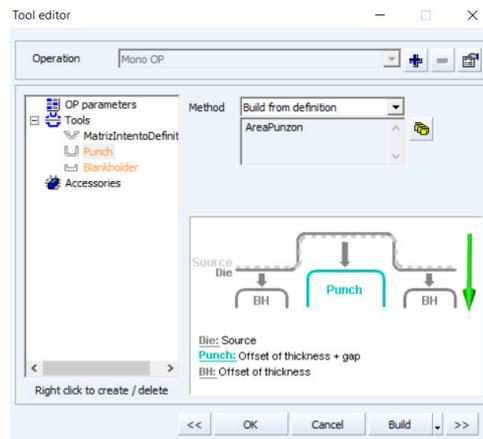


Foto 36. Diseño de herramientas "Tools" 3

Pinchando primero en punzón el menú cambia ligeramente. Para definir una geometría se debe pinchar el botón de la triple caja amarilla, dentro de la cual nos dejara elegir lo que previamente hemos llamado AreaPunzón.

El mismo proceso se debe llevar a cabo para definir el pisador, sin embargo, debemos elegir la geometría AreaPisador para definirla correctamente. En este menú también se incluye la posibilidad de que el pisador este en el lado de la matriz o en el lado del pisador. Para este proyecto el pisador irá colocado a la par que el punzón.

Una vez terminado de definir las herramientas que van a tomar parte en la simulación se debe pinchar en "Build" para que el programa construya las herramientas que posteriormente va a utilizar en la simulación. Después "Ok" para salir de ese menú.

3.6.8. Diseñar los frenos (Drawbeads)

Un accesorio esencial para un troquel embutidor son los frenos. Su función es la de dificultar la fluencia de la chapa, por lo que, se colocarán en aquellos lugares del pisador y la matriz donde exista cierta tendencia al adelgazamiento excesivo del material o en aquellas zonas donde se puedan formar arrugas.

Para crear frenos se debe entrar al menú de frenos (Drawbeads) que incluye el software dentro de la pantalla de "Process".

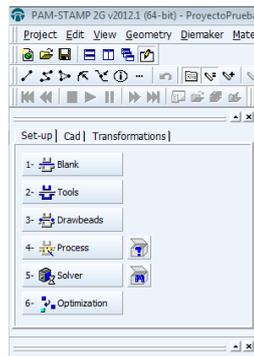


Foto 37. Menú "Set-up".

Existen dos tipos de frenos que este software te permite diseñar. Frenos uniformes y frenos no-uniformes. Para este proyecto se van a utilizar frenos uniformes solamente.

Para añadir un nuevo freno, se debe pinchar en el plus que aparece en la pantalla superior del menú de frenos.

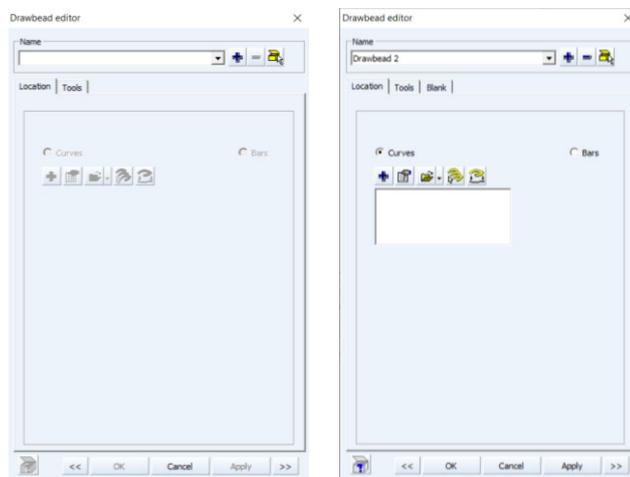


Foto 38. Pestaña 1 de diseño de frenos.

Cuando se crean frenos se pide indicar el nombre de los frenos, que por defecto se llaman, "Drawbeads", "Drawbeads 1" y así sucesivamente. Cuando se crean los primeros frenos aparecen tres pestañas en las que se podrán cambiar los datos de los frenos.

En esta primera pestaña pinchando "Curves" se define el sitio donde se van a ubicar esos frenos. Pinchando en el plus se crea una ventana de curvas de la que ya se ha hablado en el apartado de la creación de la chapa "Blank". Con las diferentes opciones que nos aporta este menú podemos ubicar los frenos donde mejor convengan a la embutición.

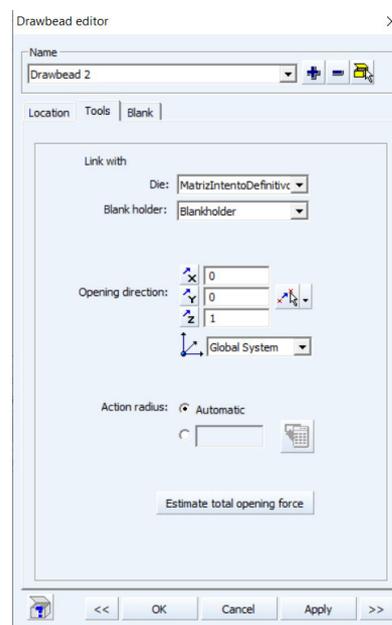


Foto 39. Pestaña 2 de diseño de frenos.

En esta segunda pestaña se define cual es la matriz y cual es el pisador, aunque suelen venir bien seleccionados se pueden cambiar si hay algún tipo de error.

También debemos definir en que eje van a extruirse estos frenos. En este apartado se debe seleccionar el sistema de coordenadas de la gravedad que se ha definido previamente "SCGravity" y el eje será el "Z".

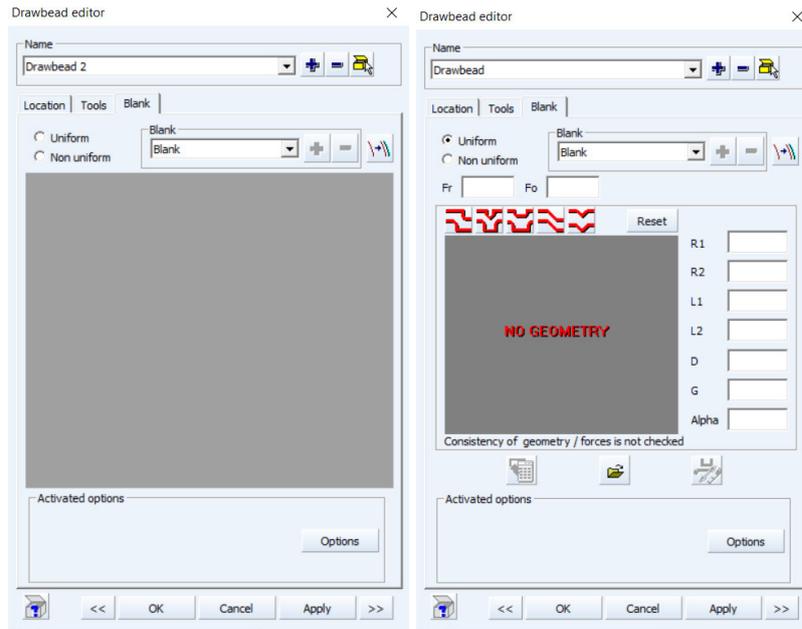


Foto 40. Pestaña 3 de diseño de frenos.

En esta tercera pestaña se define los frenos como uniformes o como no-uniformes, en este proyecto se van a utilizar frenos uniformes como ya se ha dicho. Dentro de los frenos se proponen diferentes geometrías para los frenos cada una actúa de forma diferente. Se han seleccionado los segundos y ahora se deben incluir los valores para que los frenos actúen.

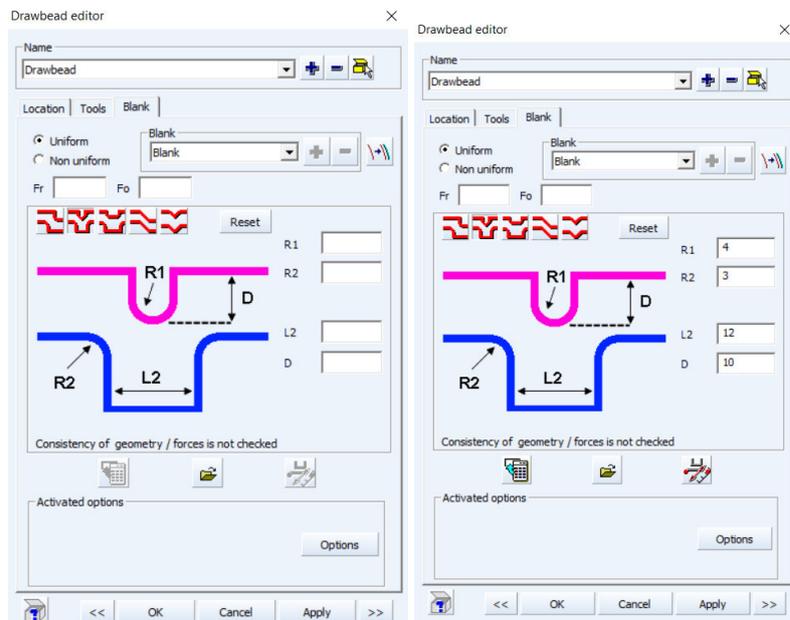


Foto 41. Pestaña 3 de frenos sin y con los primeros valores de diseño.

El resto de los valores se calculan automáticamente con el software a través de la calculadora de la zona inferior que muestra la siguiente gráfica.

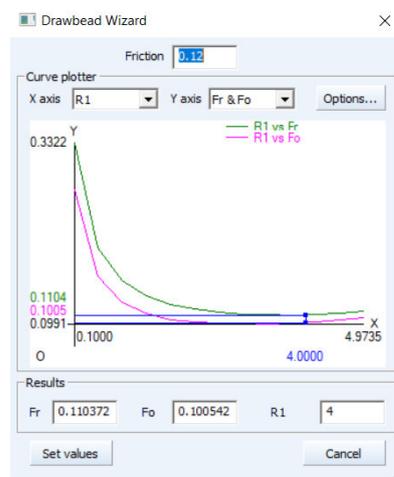


Foto 42. Grafica para definir Fr y Fo.

Se selecciona "Set values" para definir los valores que el propio software nos ofrece. Con esto definido se incluyen esos valores a los definidos previamente en la anterior ventana y los parámetros de los frenos totalmente definidos.

Una vez se acaba de definir los parámetros requeridos ya se pueden colocar frenos sobre la matriz, por ejemplo, unos simples que posteriormente se van a utilizar para la simulación.

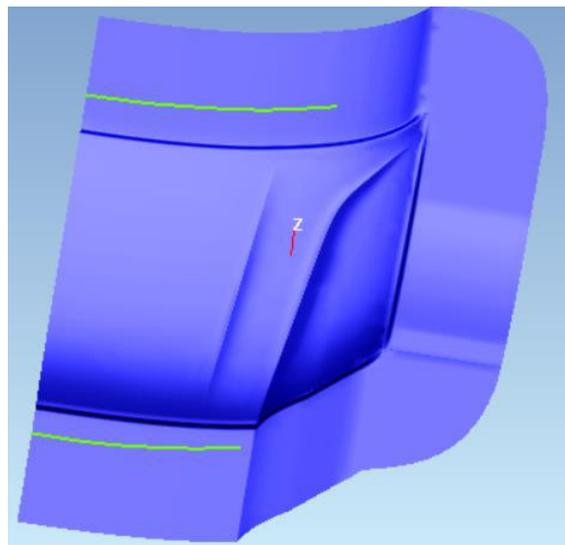


Foto 43. Diseño de frenos.

3.6.9. Diseñar el proceso (Process)

Seleccionamos "Process" siguiendo el orden y saltando de momento la opción de "Drawbeads" que es para diseñar los frenos de la matriz que quedara para un paso posterior.

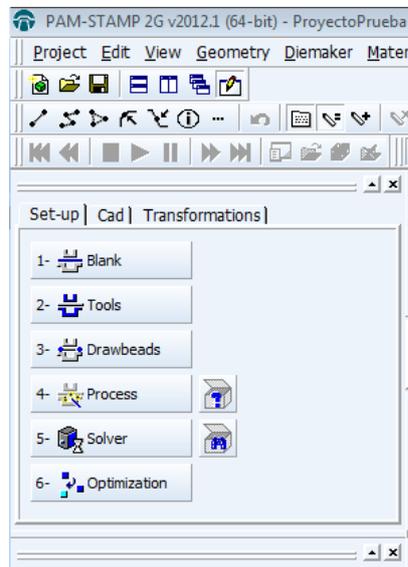


Foto 44. Menú "Set-up".

Una vez entramos nos aparece un menú en el que deberemos elegir la macro del proceso de embutición.

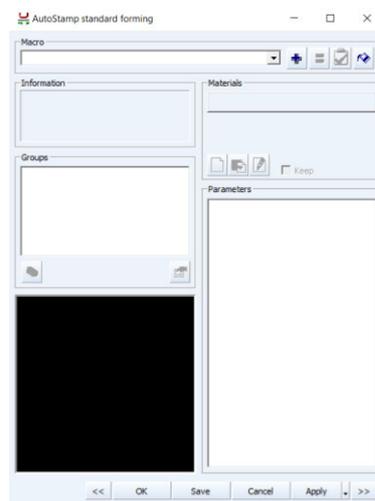


Foto 45. Menú "Process"

Para añadir una nueva macro se seleccionará el “+” que hay arriba a la derecha. Se abre una nueva ventana en la que seguiremos las siguientes indicaciones: “STAMP > High_Quality > SingleAktion.ksa”

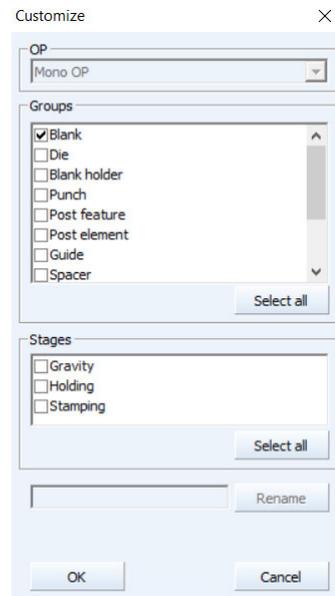


Foto 46. Selección de elementos que participaran en la simulación.

En esta nueva ventana se va a elegir que va a formar del proceso de embutición. Para ello debemos elegir las siguientes opciones dentro de “Groups”; “Die, Blank holder, Punch, Symetry plane” y las “Stages”; “Gravity, Holding, Stamping” ya que queremos simular un proceso de estampación completo.

Una vez se han seleccionado las condiciones de simulación, se deben incluir dos datos. “Blankholder stroke” es la separación que habrá entre el punzón y la matriz, la cual debe ser suficiente como para que durante el proceso de pisado el punzón no toque la chapa en ningún momento: se va a especificar una distancia de actuación de 100. La otra variable “Blankholder force” es la fuerza que se va a hacer en el pisado, como se ha calculado previamente utilizaremos el valor de 550kN obtenido.

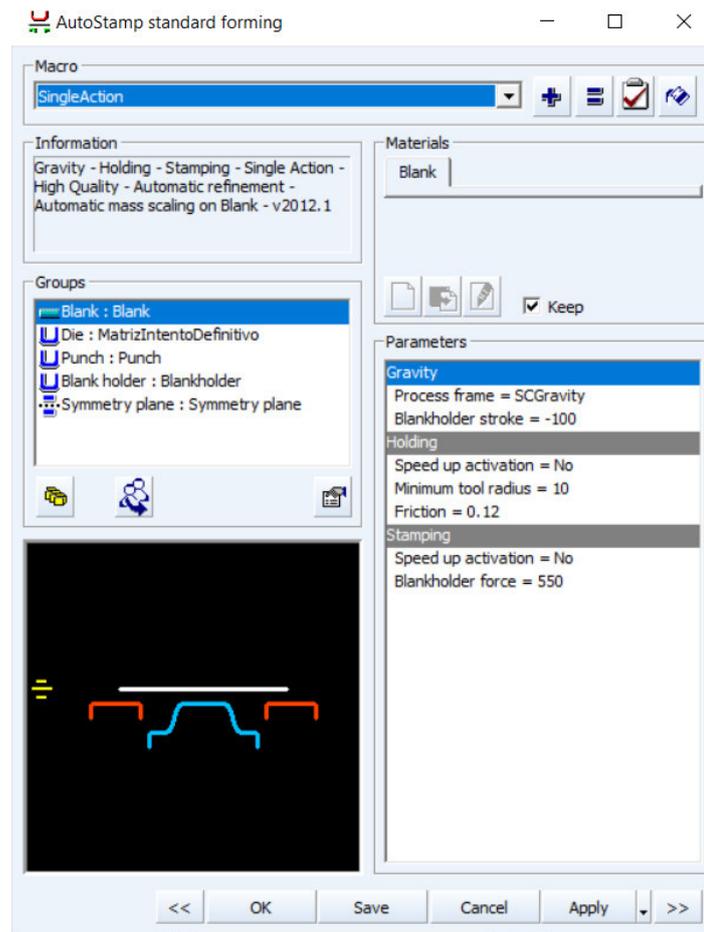


Foto 47. Menú "Process"

Una vez establecidas estas variables pulsar "Ok" para terminar de determinar este menú.

Cuando se quiera cambiar el proceso la fuerza que hace el pisador es una de las principales variables por lo que se volverá a este menú para editar ese valor.

3.6.10. Inicio de la simulación (Solver)

Entramos en este menú para comenzar con la simulación, simplemente pulsando "Ok" aparecerá una ventana de errores informando si la simulación se puede llevar a cabo de una forma adecuada.

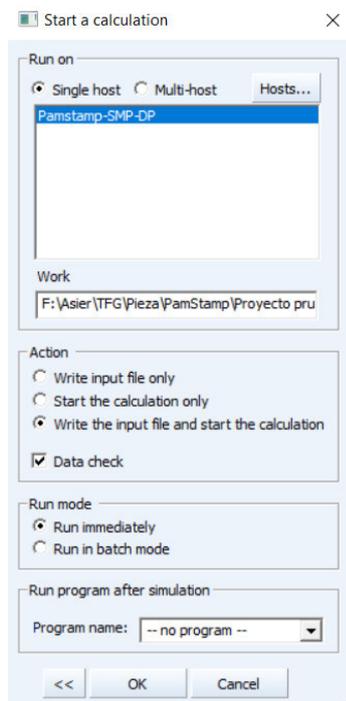


Foto 48. Menú "Solver"

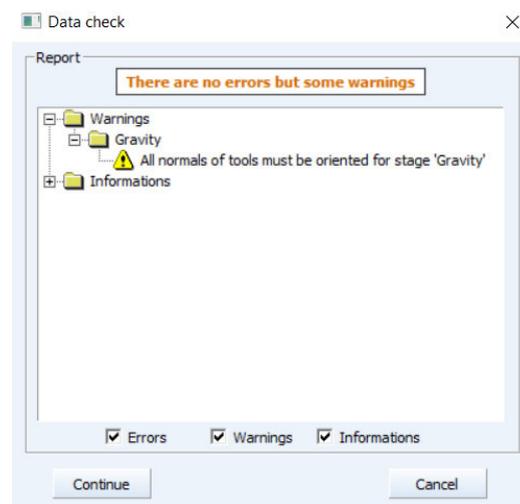


Foto 49. Avisos de PamStamp

En este caso el programa informa de avisos, pero no hay errores que no nos permitan ejecutar la simulación por lo que pinchando continuar comenzara la simulación.

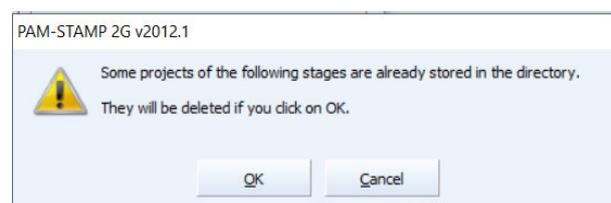
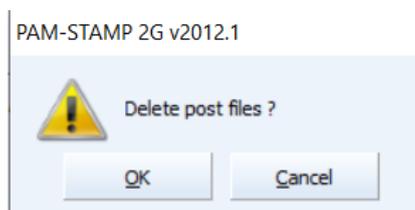


Foto 50. Foto 51. Avisos PamStamp

Estos mensajes advierten la posibilidad de borrar datos archivados. Pulsar "Ok" para avanzar.

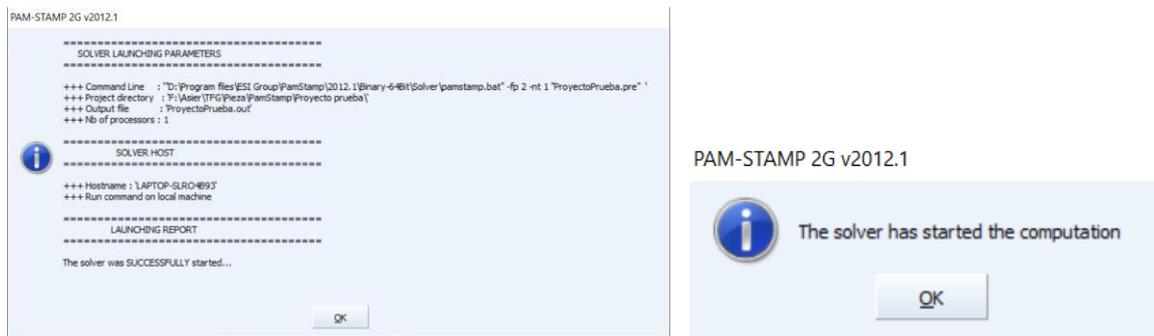


Foto 52. Foto 53. Avisos PamStamp

Estos dos mensajes informan de que la simulación ha comenzado.



Foto 54. Foto 55. Foto 56. Comienzo de cada parte de la simulación.

Después para cada parte de la simulación aparecerán los siguientes mensajes a los que se debe proceder con el mismo protocolo para continuar con la simulación. Para cada una de las partes de la simulación se abrirá una nueva ventana en la que podremos navegar en los diferentes momentos de calculo que el programa ha llevado a cabo.

3.6.11. Navegando por el programa

En cada una de las fases de la simulación tenemos una ventana a lado de la que se ha estado usando hasta ahora. En ella hay dos pestañas, "Project" podemos ver la evolución que ha tenido la chapa en diferentes momentos del proceso. Para visualizar los diferentes estados de la simulación del proceso se pincha en el "State" que se quiera visualizar. En la pestaña "Visibility" se puede elegir los objetos se quieran visualizar, de este modo si se quiere ver la evolución de la chapa durante el proceso, se selecciona solo la chapa (En este caso llamada "Blank") y en la pestaña de "Project" se puede ver como se conforma la chapa a medida que el punzón se aproxima a ella para darle forma en cada uno de los "State".

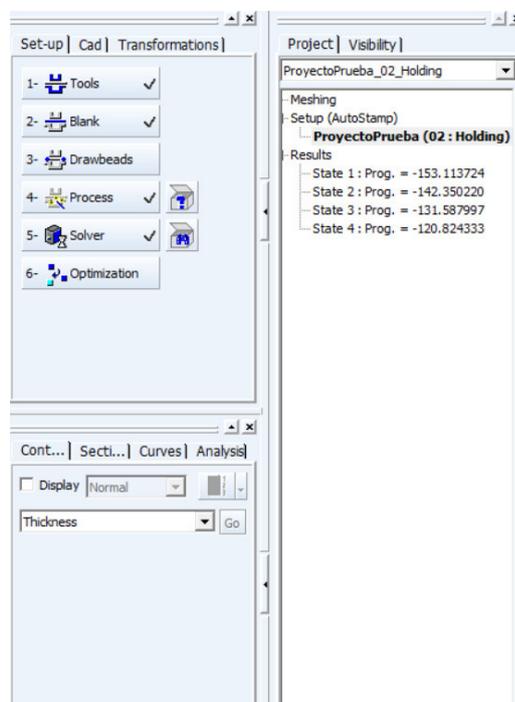


Foto 57. Diferentes menús de PamStamp.

En la ventana inferior se observan diferentes funciones, se utiliza sobre todo una vez ha terminado la simulación para ver los resultados. Se puede observar cuanto ha adelgazado la chapa durante el proceso, la curva FLD de la cual ya se ha hablado previamente y otra gran cantidad de información que el programa nos procesa. La curva FLD será la herramienta principal para determinar si la simulación es correcta.

3.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se ha mencionado previamente, para que se muestren los resultados de la simulación debemos ir a la parte inferior del programa y elegir lo que se quiera visualizar.

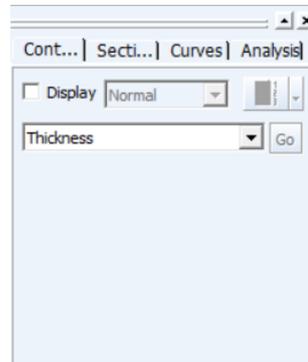


Foto 58. Menú de visualización de resultados.

Un análisis superficial de cómo ha ido la simulación es el adelgazamiento de la chapa. Accedemos directamente y se activa automáticamente la opción de "Display" sin la cual el resultado no se vería.

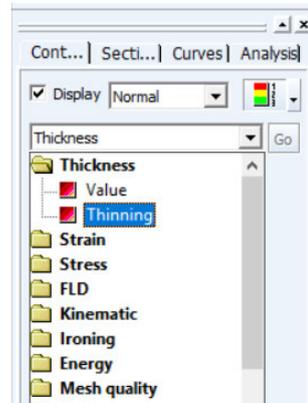


Foto 59. Opciones de distintos resultados.

Teniendo este resultado en pantalla se observa que el adelgazamiento máximo y mínimo aparecen en la parte superior izquierda junto a una leyenda.

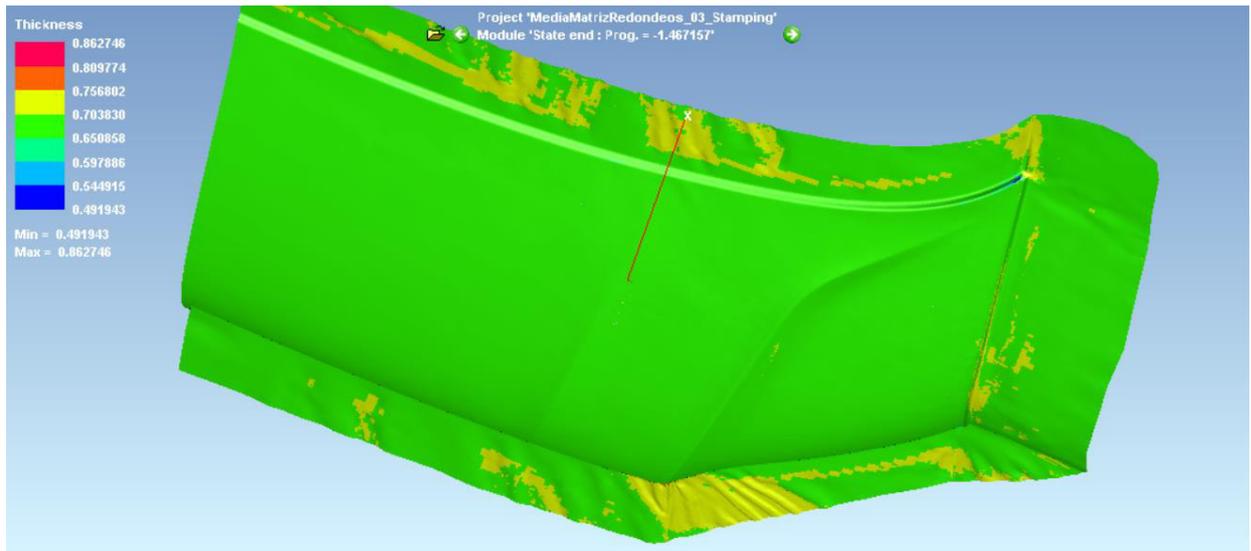


Foto 60. Grosor de la chapa tras la simulación.

Para poder dar como válido el espesor de la pieza no debe adelgazar la chapa más de un 25% en su mayoría y no más de un 30% en puntos críticos.

Para un análisis más a fondo de la simulación entramos en la curva FLD que nos va a proporcionar más información que el adelgazamiento de la chapa. FLD (Forming Limit Diagram) son las siglas de Diagrama Límite de Deformación y, tal y como indica su nombre, es un diagrama donde se representan las deformaciones principales máximas frente a las mínimas. Cada punto es la representación de un elemento de la chapa.

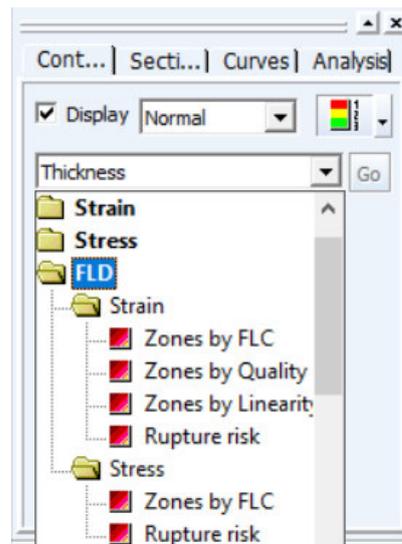


Foto 61. Opciones de distintos resultados.

“Zones by FLD” simplemente separa las partes que no han roto de las que si han roto. En un análisis simple y rápido puede servir, pero se va a analizar este proceso más a fondo.

“Zones by Quality” Determina la tendencia que tiene cada uno de los elementos que construyen la chapa. Esta es la más interesante de las tres opciones de FLD ya que muestra cómo puede actuar el proceso ya que al fin y al cabo esto es una simulación y en la realidad intervienen infinidad de factores para cada pieza.

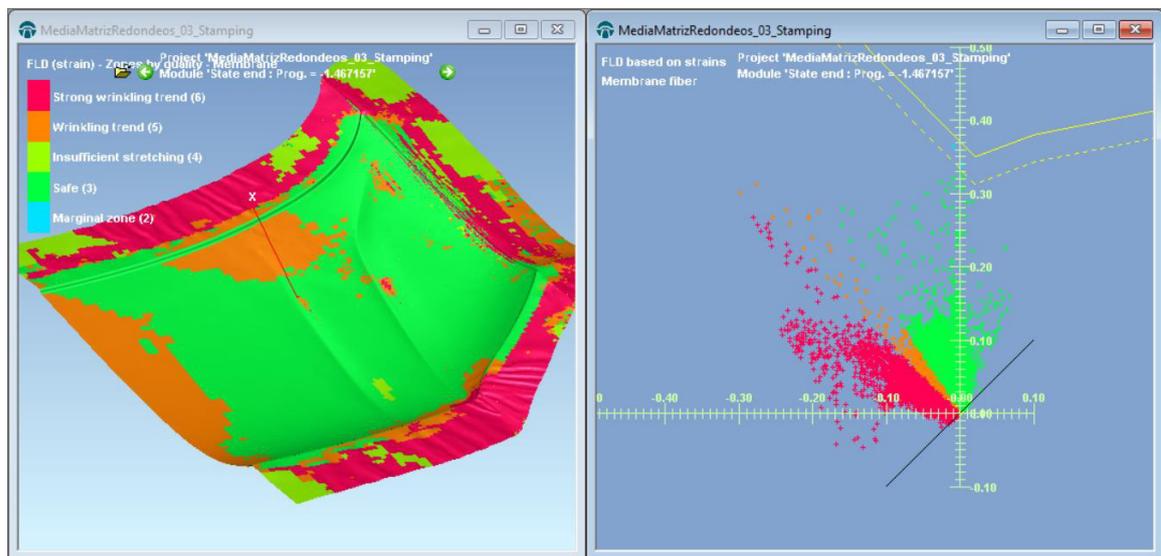


Foto 62. Resultados de “Zones by Quality” y grafico FLD de la simulación.

Zona roja: Alta tendencia a las arrugas. En estas zonas se pueden ver a simple vista que se generan arrugas. Se debe evitar que aparezcan estas zonas en la superficie útil de la pieza, no obstante, no importa si aparecen en la zona del pisador.

Zona naranja: Tendencia a las arrugas. No es seguro que aparezcan arrugas en estas zonas, pero se tratará de evitar en la medida de lo posible que estas zonas se encuentren en la zona de pieza útil.

Zona verde claro: Zona en la que el material no se ha estirado lo suficiente, hay que tener cuidado ya que podría indicar que la chapa no fluye bien.

Zona verde: Indica que esa zona se ha conformado correctamente. Debe ser el color predominante de la pieza útil, a poder ser en toda su superficie.

Zona azul clara: Indica las partes de la pieza donde existe una clara tendencia a la rotura, de manera que, no se deberá visualizar ninguna región pintada de este color.

Zona azul oscuro: En estas zonas, la rotura está asegurada. Por muy pequeña que sea la rotura en cualquier zona de la pieza, ya sea zona de pisado o no, la configuración para esa simulación será automáticamente desechada, ya que la pieza no es válida.

Lo óptimo sería que toda la superficie útil de la pieza se encuentre en la zona verde, pero al tratarse de una pieza tan compleja, se puede permitir alguna zona verde clara (estrechamiento insuficiente), incluso naranja (tendencia ligera a generación de arrugas), si es muy pequeña, pero nunca una zona roja (alta tendencia a arrugas).

Las zonas azul oscuras son las zonas donde se han generado grietas en la chapa, y las zonas de azul claro son las zonas en las que está a punto de haber grietas con lo cual tampoco son muy aceptadas en este tipo de proceso. Estas zonas azul claro nos indica que según vayamos aumentando la fuerza del pisador pasaran a ser zonas azul oscuro.

Se puede observar esta progresión en las siguientes imágenes de la misma zona de la chapa simplemente aumentando la fuerza del pisador.

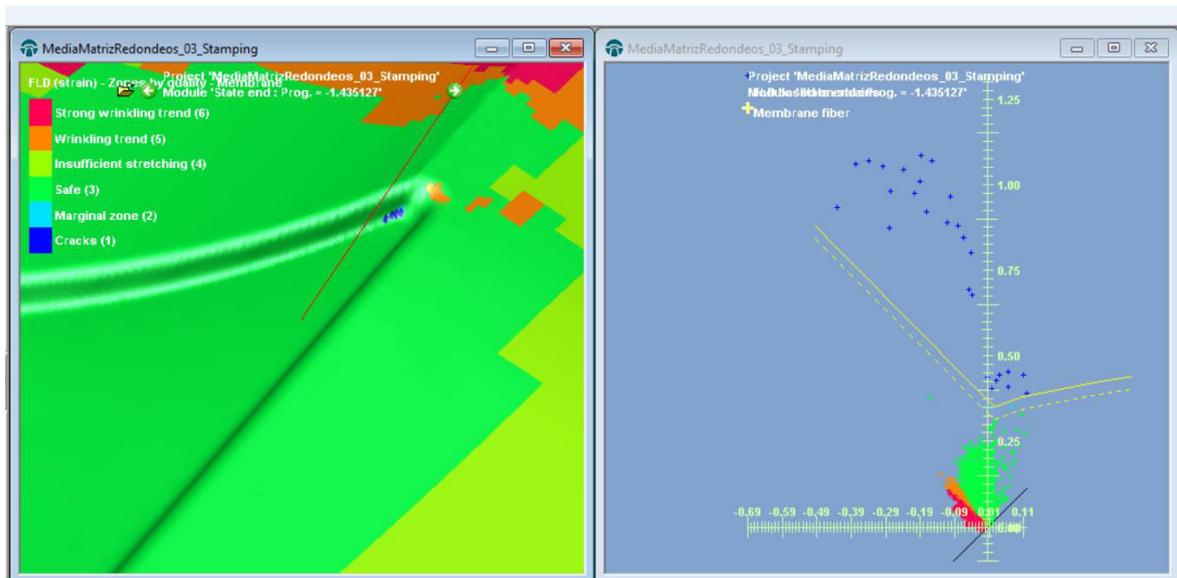


Foto 63. Resultado a 750N.

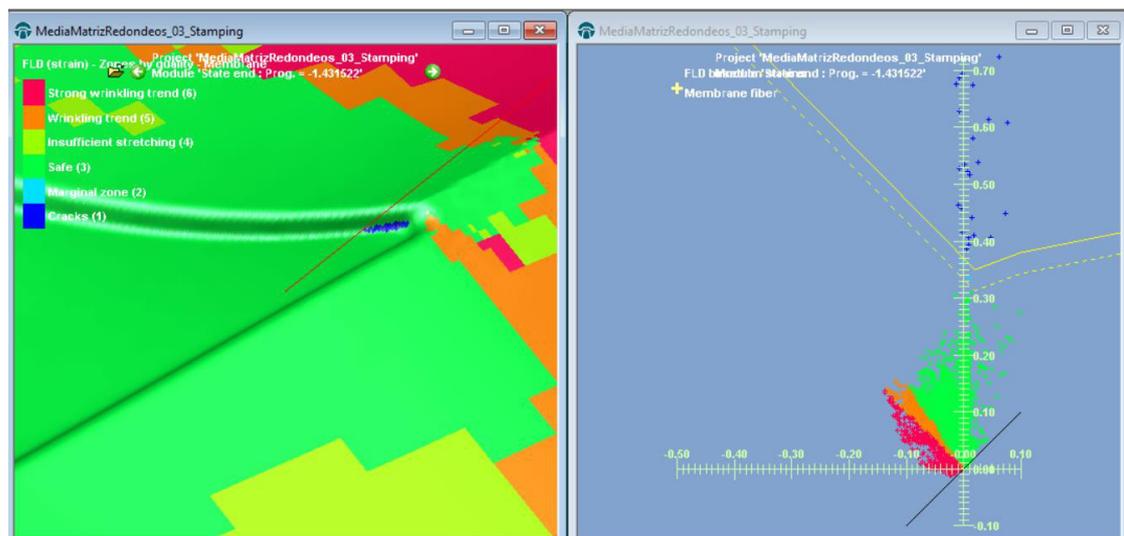


Foto 64. Resultado a 1000N.

Con el análisis de las gráficas de espesor y FLD puede darse el visto bueno a una pieza. En este ejemplo, la pieza no sería válida, ya que existen unas zonas de rotura dentro del diseño de la pieza final (lo cual elimina instantáneamente la simulación) si aumentamos la fuerza del pisador, además de varios sectores donde casi seguro se crearán arrugas, y grandes zonas de arrugas cuando la fuerza del pisador es baja. Por lo tanto, habrá que hacer más pruebas de simulación hasta que desaparezcan. Se ha descartado hacer más intentos con este diseño por lo que deberemos cambiar el diseño de la matriz.

3.8. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Tal y como se ha mencionado previamente se van a hacer cambios en el diseño 3D de la matriz, ya que cambiando parámetros de la simulación no se va a conseguir un buen resultado sin roturas, ni arrugas. Por tanto, se modifica el diseño 3D desde el inicial hasta el

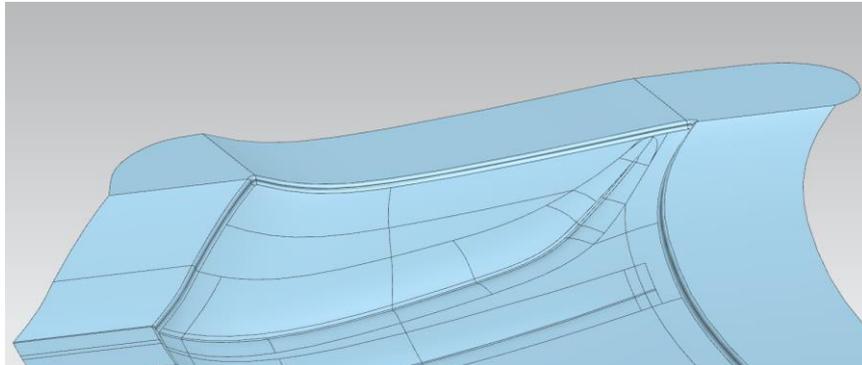


Foto 65. Diseño inicial

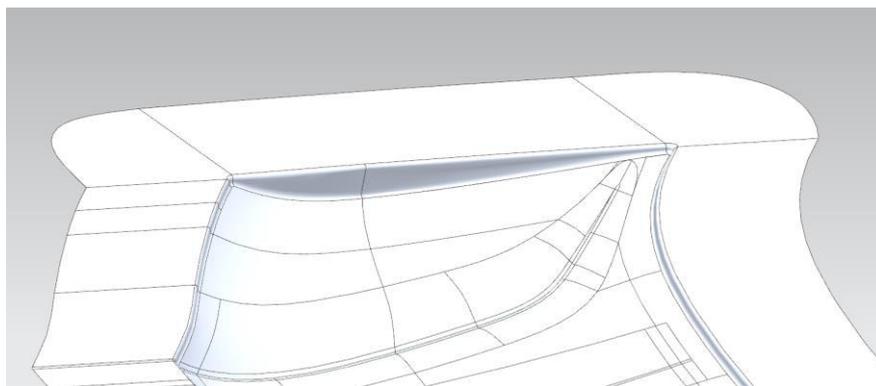


Foto 66. Segundo diseño

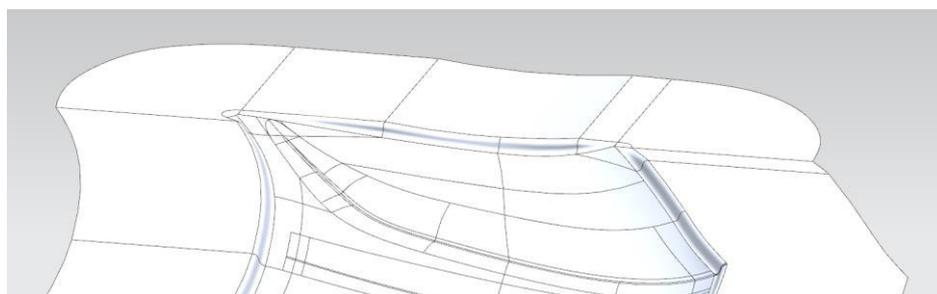


Foto 67. Diseño final

La primera de las opciones fue la mas simple, el concepto fue rodear la pieza que queremos obtener con un acceso para que la chapa fluya, una forma de "S" como podemos observar mas claramente en la siguiente imagen.

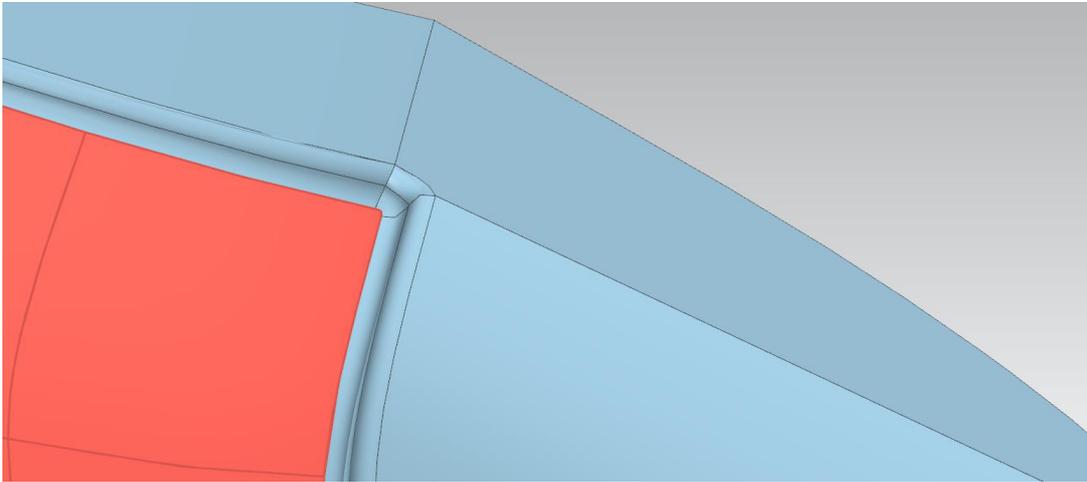


Foto 68. Zona flujo de chapa

En rojo se observa lo que será la pieza final, seguido de la forma "S" para favorecer que la chapa fluya y seguido de la zona del pisador. Sin embargo, hay zonas en este diseño que producen zonas en las que se complica muchísimo la embutición por tener grandes curvas, foto XX. Además, con este diseño de matriz aparecen arrugas en el centro de la pieza, lo cual es inconcebible para una pieza de diseño exterior como es esta que se está diseñando.

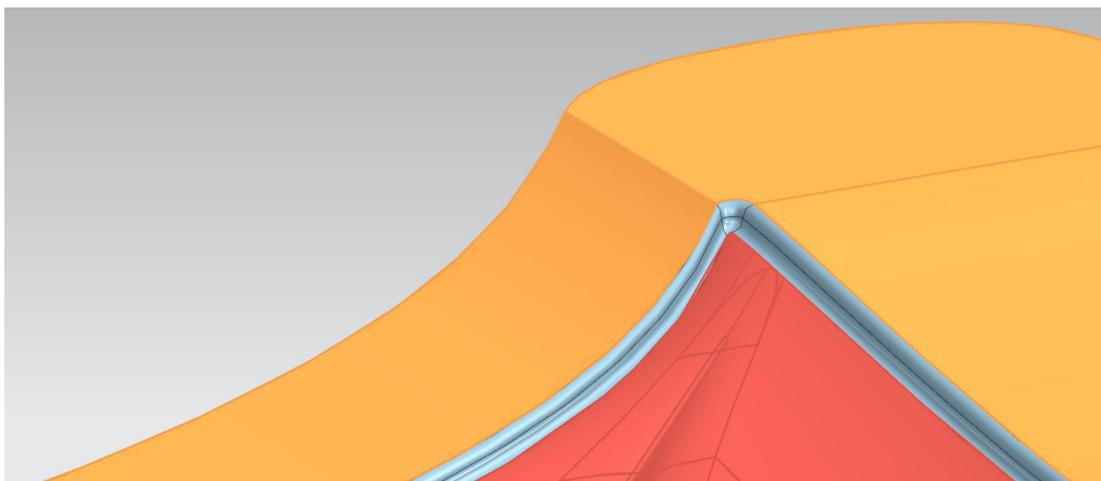


Foto 69. Zona critica de embutición.

El segundo diseño de matriz se creó para tratar de evitarla arruga central que se menciona previamente.

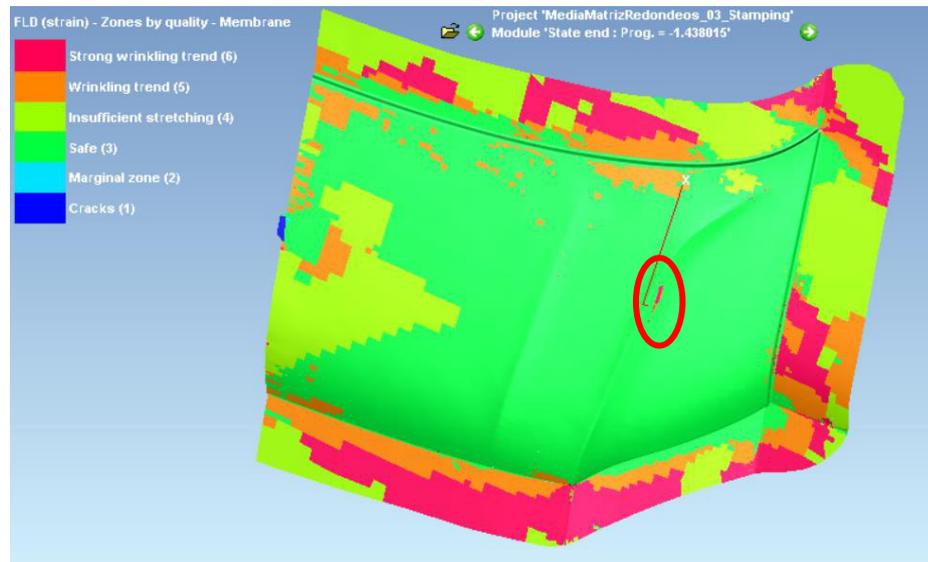


Foto 70. Arruga central.

Para evitar esta arruga central se crea un segundo diseño de la matriz a partir de la observación del proceso. Se observa que, durante la simulación, cuando el pisador presiona la chapa contra la matriz ya se genera en esa zona una arruga debido a las curvas que tiene el pisador y la matriz, por lo que se va a elevar la pronunciada bajada de la siguiente zona del pisador.

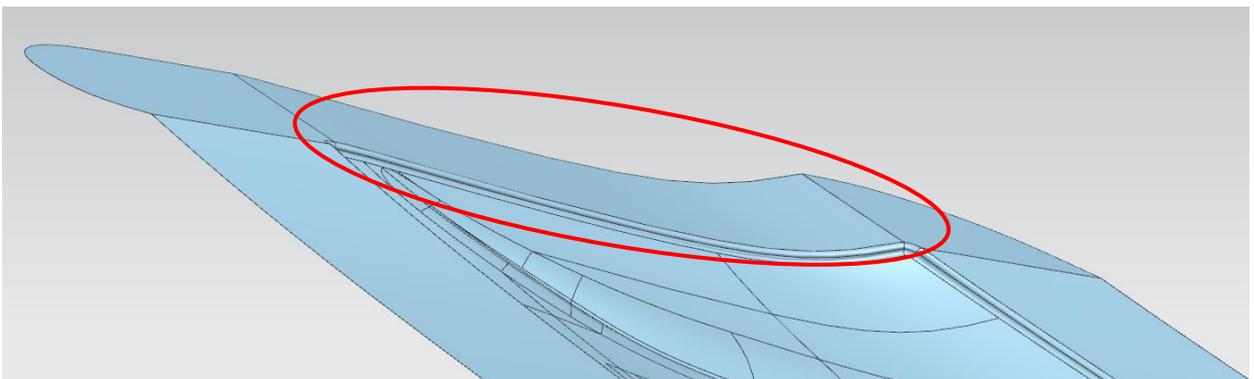


Foto 71. Zona que se quiere elevar.

El objetivo de este cambio es que no se genere esa arruga tan pronto igualando las alturas de esa zona. Después del cambio esa zona quedara así.

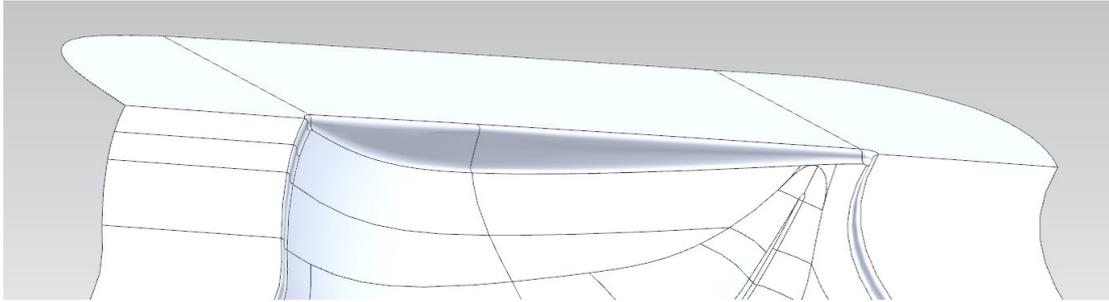


Foto 72. Segundo diseño zona elevada.

Con este diseño se reduce al máximo la curva que se generaba en esa zona ya que ahora es plano. Pero este diseño ha traído consigo mas problemas que soluciones, ya que en este diseño la fuerza para embutir la chapa va a ser mucho mayor. Además, se han tenido que hacer varios diseños ya que siendo la pared que se observa en la foto perpendicular a la chapa complica mucho la embutición. Se ha tenido que inclinar esa pared hacia fuera para que la chapa pueda fluir con más facilidad y la fuerza requerida sea más pequeña.

Sin embargo, a pesar de todos los intentos, no se ha conseguido realizar una simulación en condiciones debido a los múltiples problemas que se han tenido para embutir la chapa con esta matriz.

Lo cual nos deja con el ultimo diseño, el definitivo. En este caso en vez de elevar las zonas que están mas bajas, se ha tratado de rebajar las zonas mas altas, es decir, las cuatro esquinas que conforman la matriz. De este modo pasamos de tener altas zonas de embutición y zonas en las que se puede dar fracturas a zonas sin apenas nada de embutición.

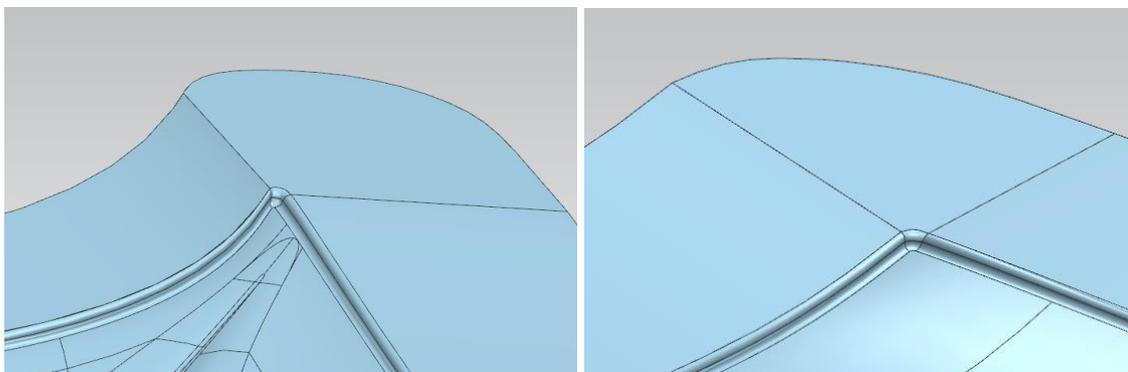


Foto 73. Foto 74. Esquinas de la matriz iniciales

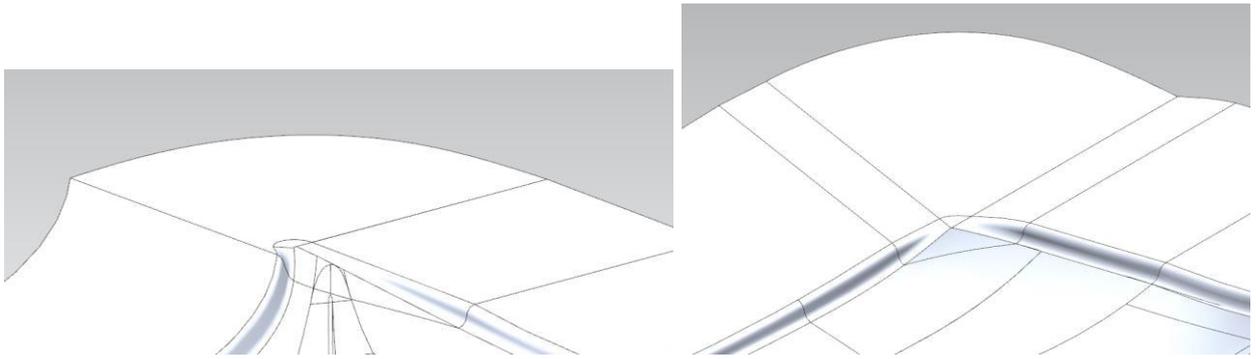


Foto 75. Foto 76. Esquinas de la matriz tras realizar el rebaje.

Para esta matriz si que se ha podido simular sin ningún problema muchas diferentes opciones de fuerzas materiales y frenos.

3.8.1 Diferentes simulaciones con la matriz definitiva

Una vez tenemos definida la matriz que vamos a utilizar, se comienza con una simulación simple, sin frenos y con la fuerza obtenida para realizar esta simulación.

Con una fuerza en el pisador de 550kN y un acero AP00 de 0.7mm obtenemos los siguientes resultados:

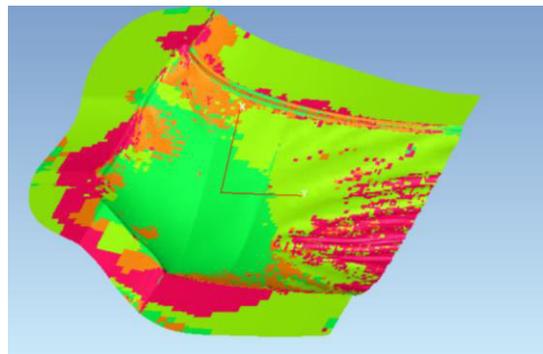


Foto 77. F 550kN - Sin frenos.

En la foto se puede observar como en la zona central de la matriz se producen grandísimas arrugas. Para solucionar estas arrugas se van a definir frenos en esas zonas de la matriz para evitar que tanto material fluya de este modo reduciendo esas arrugas, además de aumentar la fuerza del pisador ya que de esta manera también se reducen las arrugas de la pieza en general.

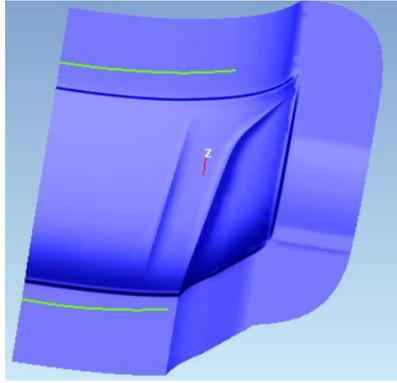


Foto 78. Frenos definidos.

Se definen los frenos de la foto para empezar, dos frenos a través de toda la zona central de la matriz. También se aumenta la fuerza del pisador a 700kN. Este es el resultado.

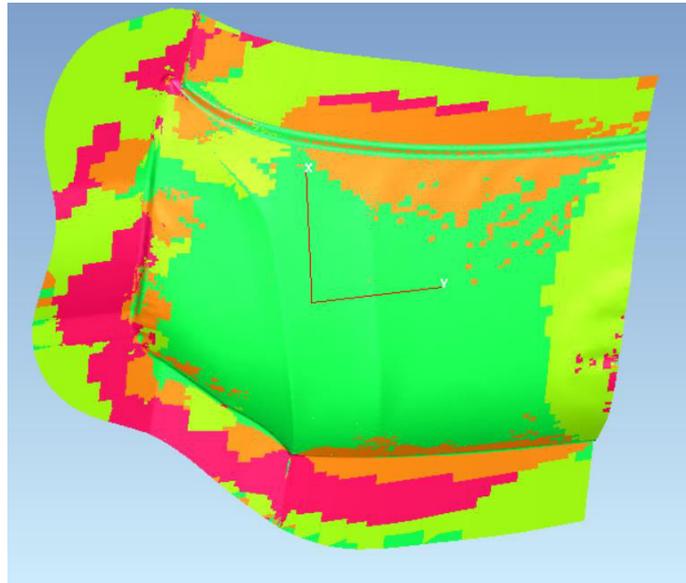


Foto 79. 700kN y frenos en el centro.

Vemos que aumentando la fuerza y colocando unos frenos la simulación mejora mucho ya que se eliminan las grandes arrugas que se generaban en el centro de la pieza. Se va a incrementar la fuerza del pisador ya que ha dado un buen resultado, se aumenta hasta los 1000kN.

Obtenemos el siguiente resultado de la nueva simulación.

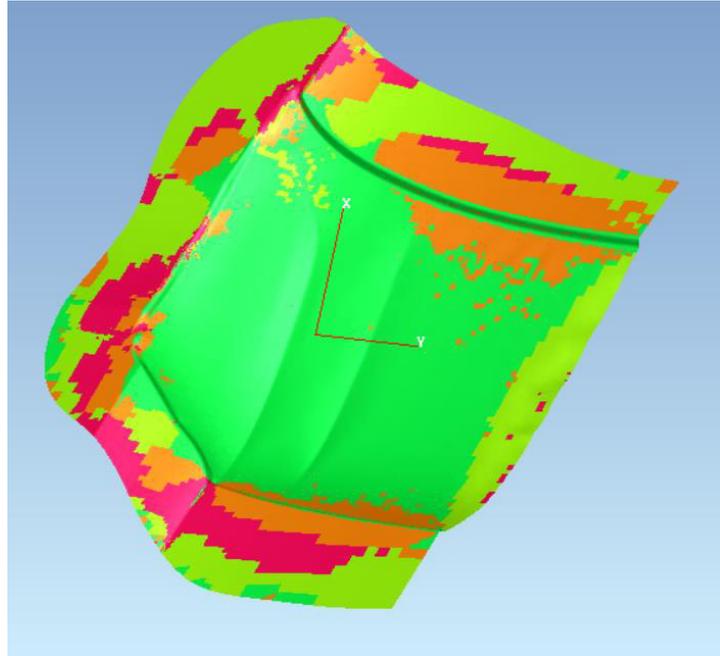


Foto 80. 1000kN y frenos en el centro.

Se ve que la pieza ha mejorado, pero no lo suficiente, está lejos de tomarla como una pieza válida para la fabricación.

Para mejorar la calidad y presencia de la pieza se va a incrementar la fuerza del pisador y se van a incluir más frenos en las zonas que se creen más convenientes para mejorar las arrugas. En la siguiente foto se muestran los frenos incluidos para mejorar la simulación. Para facilitar la comprensión los llamaremos Frenos2.

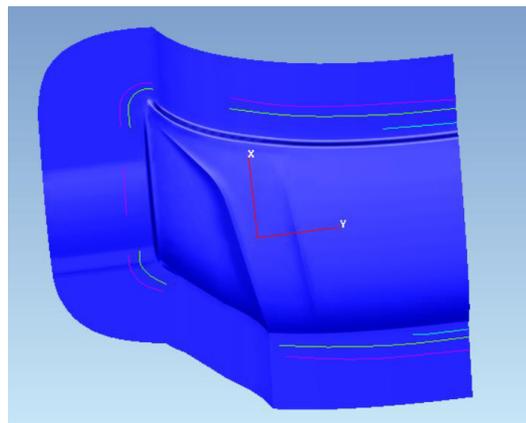


Foto 81. Diseño de Frenos2.

En este diseño vemos hasta tres filas de frenos en las zonas que se quiere frenar el flujo de material para evitar las arrugas. En las dos esquinas que se generaban zonas de tendencia a las arrugas y en el centro para evitar la generación de arrugas en el centro de la pieza.

Tras incluir los cambios este es el resultado de la pieza.

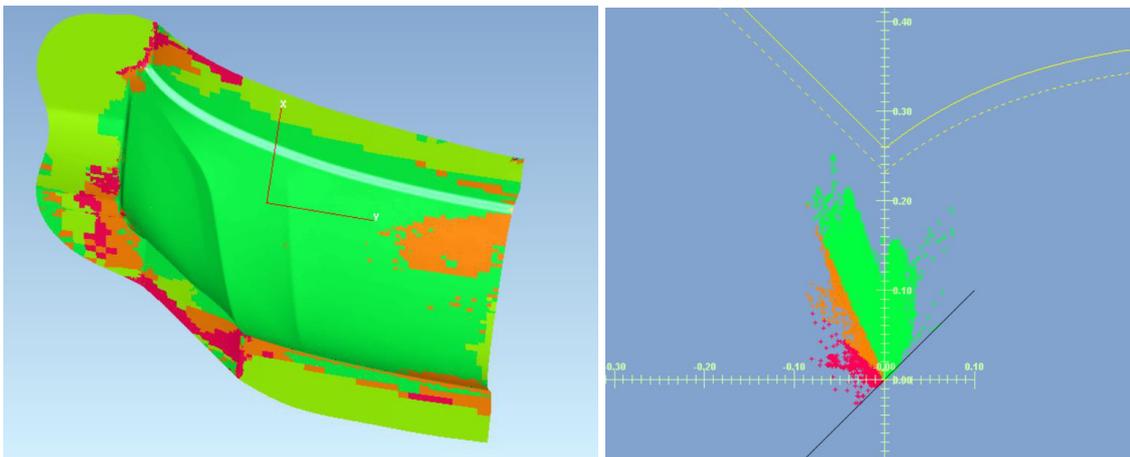


Foto 82. 1300kN y frenos2.

Foto 83. Curva FLD de la simulación.

Se aprecia a simple vista una gran mejora en el resultado de la pieza sin zonas rojas dentro de la pieza útil y pocas zonas naranjas que vamos a evitar dentro de la pieza útil.

En el grafico FLD observamos que aun tenemos margen para aumentar la fuerza del pisador, ya que, lo que implica subir la fuerza del pisador es que los puntos del grafico se muevan hacia arriba. Al tener un margen hasta llegar a la zona de rotura (por encima de la línea FLD) se podría aumentar la fuerza del pisador algo más.

Sin embargo, vamos a cambiar el material de la chapa a el que se ha seleccionado por sus características mecánicas más apropiadas para la estampación. Hasta este momento se ha utilizado el acero AP00, pero ahora vamos a cambiar al material seleccionado para el proceso, el acero FeP05.

Simplemente cambiando el material obtenemos unos resultados mucho mas favorables, como se puede observar en la siguiente imagen.

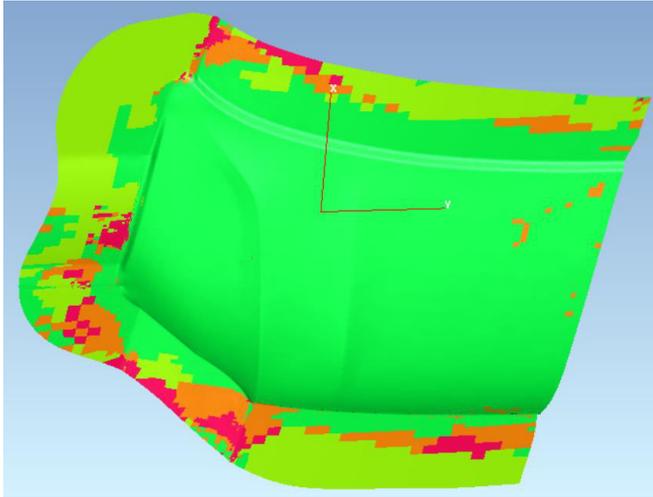


Foto 84. 1300kN, FeP05 y frenos2.

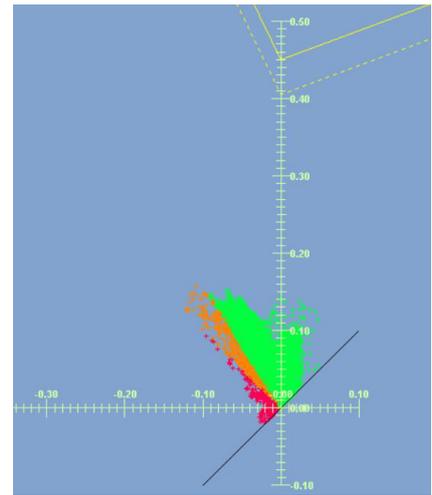


Foto 85. Curva FLD de la simulación.

Se aprecia un gran cambio simplemente al cambiar el material, se observan menos zonas naranjas, pero lo más notable de este material es la gran cantidad de margen que tenemos para aumentar la fuerza del pisador y con esto evitar aun más, si cabe, las pocas zonas de tendencia a las arrugas que queríamos evitar.

Aumentando la fuerza del pisador a 3000kN obtenemos los siguientes resultados que se pueden empezar a considerar aceptables para comenzar la fabricación.

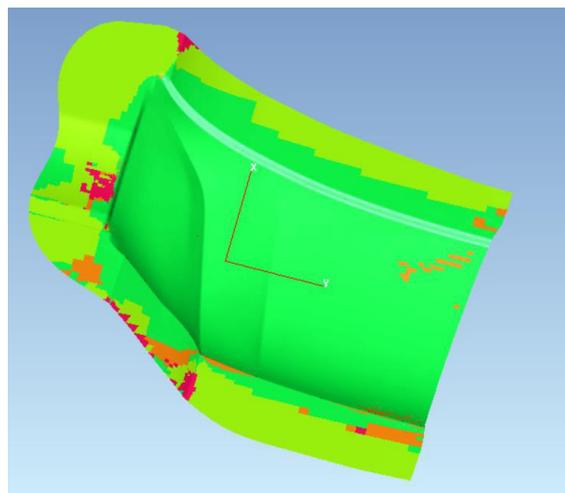


Foto 86. 3000kN, FeP05 y frenos2.

Se han hecho otras simulaciones aumentando la fuerza de pisado e incluyendo mas frenos para tratar de mejorar el proceso, sin embargo, los resultados son muy similares y elevarían excesivamente los costes de producción del troquel por lo que se va a apostar por este diseño de matriz con los parámetros previamente definidos.

3.9. ELECCIÓN DE LA PRENSA

Tras definir todos los parámetros de la embutición que hay que analizar el tonelaje que debe ejercer la prensa, para que el troquel realice el trabajo adecuadamente. Para ello, sirve de gran utilidad otra herramienta de análisis de las que dispone el software PamStamp, en concreto, la pestaña Curves del menú análisis.

En el menú de resultados se debe seleccionar la pestaña “Curves” para acceder al resultado dado por el software para la simulación.

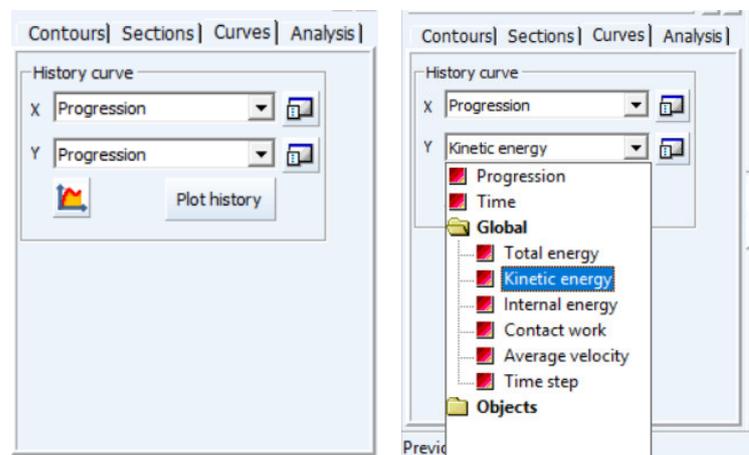


Foto 87. Menú de resultados “Curves”.

Dicho submenú permite el análisis mediante gráficas de los resultados obtenidos, es decir, permite relacionar dos variables (ejes X e Y).

Desplegando el menú en cada una de las coordenadas permite escoger la variable que se va a mostrar.

En este caso, la variable que interesa para la elección de la prensa será la fuerza de contacto en el punzón, es decir, sabiendo la fuerza máxima que se ejerce en el punzón se obtiene, automáticamente, la fuerza necesaria de la prensa. Para ello, se relacionarán las variables carrera del punzón y fuerza de contacto de este, para lo cual, en el eje X se elige la opción “Progression” y en el eje “Y”, dentro de “Objects” “Contact force”, se selecciona la opción Punzón.

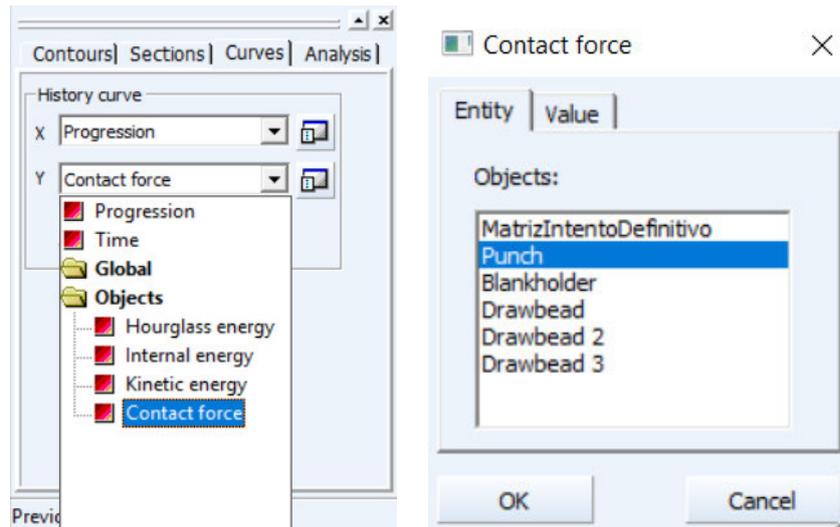


Foto 88. Menú resultados para acceder a la fuerza del punzón.

El software nos muestra la siguiente grafica para esta simulación:

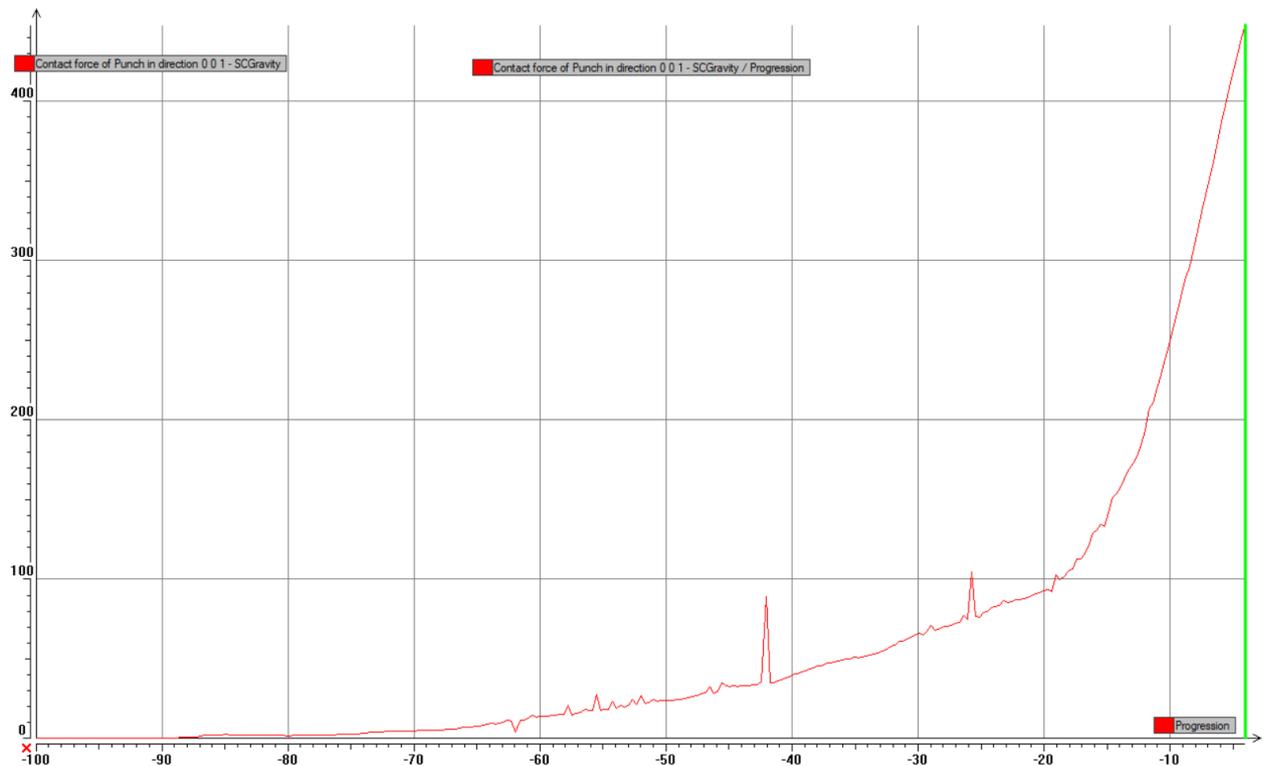


Foto 89. Gráfico Fuerza – Desplazamiento de la simulación final.

Analizando los resultados de la gráfica se observa como a medida que el punzón va conformando la chapa, la fuerza que se ejerce es mayor. Existe un punto crítico cuando el troquel esta casi cerrado, en $X = -4.31711$, donde la

fuerza aplicada es de 439.686 KN. Entre ese punto y el último, $X = - 4.07467$, la fuerza ejercida aumenta hasta llegar a los 447.629 KN.

Se toma como fuerza que debe ejercer en el punzón, la máxima registrada, para llevar a cabo una correcta embutición. No obstante, a dicho valor habrá que añadirle la fuerza del pisador, siempre y cuando, éste venga accionado por la propia prensa y no por un cojín neumático independiente.

En este caso, se ha optado por un trabajo en simple efecto, en el cual, la matriz situada arriba se encarga de ejercer la fuerza sobre el punzón y el pisador. Por tanto, será la prensa, únicamente, la que se acupe de accionar la matriz y la que deberá aportar, tanto la fuerza necesaria en el punzón, como en el pisador. Por consiguiente, para fijar el tonelaje mínimo necesario de la prensa accionadora se deberá sumar ambos valores (pisado y embutición) dando lugar a lo siguiente:

Fuerza necesaria en la prensa = Fuerza pisado + fuerza embutición

$$F_{prensa} = 3000 \text{ kN} + 447.629 \text{ kN}$$

$$F_{prensa} = 3447.629 \text{ kN}$$

Transformando dicho valor a Tn

$$F_{prensa} = 351.56 \text{ Tn}$$

Debe dejarse un pequeño margen para que la prensa tenga margen de maniobra, por lo que se seleccionará una prensa que sea capaz de ejercer 375 Tn.

3.10. ELECCIÓN DEL COJÍN DE PRENSA

Como se ha explicado en anteriores apartados el cojín de prensa será el encargado de ejercer la fuerza sobre el pisador. Como en él recae la sujeción del pisador además de la fuerza que ejercerá contra la chapa, el resultante de las fuerzas es la siguiente:

Fuerza necesaria del cojín = Fuerza pisado + Peso pisador

$$F_{\text{cojín}} = 3000 \text{ KN} + 58.24 \text{ KN}$$

$$F_{\text{cojín}} = 3058.24 \text{ KN}$$

Pasando dicho valor a Tn

$$F_{\text{cojín}} = 305.824 \text{ Tn}$$

Dejando un pequeño margen de maniobra al cojín a seleccionar será aquel capaz de desarrollar una fuerza de 320Tn.