



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO

Título del proyecto:

“DISEÑO DE TROQUELES PARA LA FABRICACIÓN DE LA PIEZA
SOPORTE PULSADOR”

Alumno: Iñaki Barbarin Matute

Tutor: Daniel Salcedo Pérez

Javier León Iriarte

Pamplona, 12/09/2014

INDICE

1. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS	2
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1 INTRODUCCIÓN.....	3
2.2 PROCESOS DE DEFORMACIÓN PLÁSTICA.....	4
2.2.1 Procesos de deformación de lámina o chapa	4
2.2.2 Procesos de deformación de bloques.....	14
2.3 CONFORMADO DE PIEZAS MEDIANTE TROQUELADO Y ESTAMPADO EN FRÍO	19
2.3.1 Descripción de los procesos	19
2.3.2 Repaso histórico.....	32
2.3.3 Características y aplicaciones	34
2.3.4 Ventajas e inconvenientes	40
3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	41
3.1 INTRODUCCIÓN.....	41
3.2 PROCESO DE TROQUELADO Y ESTAMPADO EN FRÍO	42
3.3.1 Definición de utillaje	42
3.3.2 Componentes, materiales y tratamientos térmicos	44
4. RESULTADOS ESTUDIO F.E.M	61
4.1 INTRODUCCION AL FEM Y AL FV	61
4.2 DESARROLLO Y RESULTADOS MODELO 2D	65
4.3 DESARROLLO Y RESULTADOS MODELO 3D	205
5. DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL UTILLAJE PARA LA FABRICACION DE PIEZA “SOPORTE PULSADOR”	214
5.1 ANTEPROYECTO	214
5.1.1 Características constructivas del utillaje	214
5.1.2 Procesos de alimentación de material	218
5.2 PROYECTO	221
5.2.1 Diseño de procesos	221
6. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS	225
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	227

1. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto va a ser el diseño y fabricación de la siguiente pieza "soporte pulsador", requerida por el cliente a la empresa "METRANSA" (Mecanizados y Troquelados Ainzoin SA).

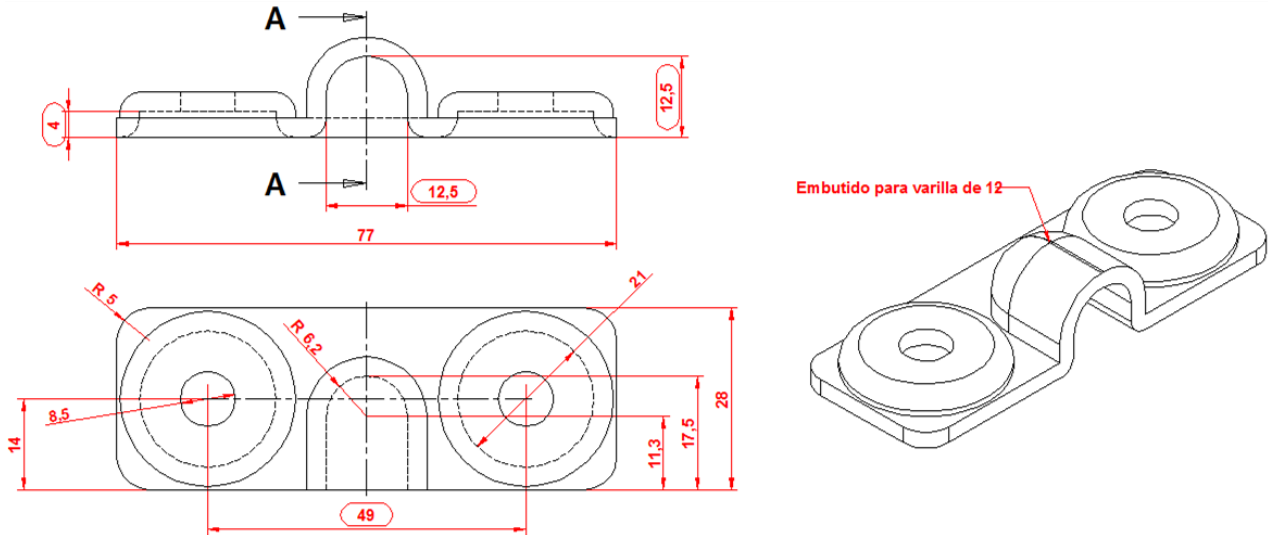


Figura 1.1. Medidas de la pieza a obtener

El desarrollo del proyecto, trata, mediante el diseño y fabricación de un troquel para el doblado de dicha pieza, obtener la pieza en su contorno y posteriormente el troquelado de los agujeros.

Por tanto proyecto tiene por objeto el desarrollo de las especificaciones técnicas y de fabricación para llevar a cabo un sistema de fabricación adecuado para una pieza de las siguientes características:

- Pieza de chapa de 3 mm de espesor del tipo AP-12 según la norma UNE 36-093-85.
- Tolerancias dimensionales según NES D0016, especificadas por el cliente
- Serie de alta producción de piezas.

Mediante el uso de simulación por elementos finitos (FEM) se va a estudiar y optimizar la geometría de los troqueles para la fabricación de esta pieza.

2. INTRODUCCIÓN

La idea de este proyecto parte de la relación que existe entre una empresa de troquelaría y mecanizado dedicada a la fabricación, montaje y ajuste de utillajes y herramientas para el sector mecánico.

La empresa es “METRANSA” (Mecanizados y Troquelados Ainzoin SA) y se engloba dentro del sector de la pequeña y mediana empresa. Es un taller de mecanizado, expertos en herramienta de curvado de tubos, utillajes y mecanizados especiales de 3, 4 y 5 ejes.

Se compone de una nave de 1249 m² de los cuales 979 m² son para la nave industrial, y los 270 m² restantes se utilizan en oficinas y otros. La primera planta contiene 217 m² y el almacén 53 m². El resto del terreno son 309 m² para la zona de entrada y parking. El número de trabajadores es de 12, divididos en los siguientes puestos de trabajo: 5 Fresadores, 2 Torneros, 1 Electroerosión, 1 de Corte por Hilo, 1 Ajustador, 1 Control de Calidad y 1 Secretaria.

Una vez descrito el marco en el que se realizara el proyecto, se pasa a definir de forma introductoria las bases generales del mismo. Hay que tener en cuenta que el proyecto únicamente se centra en las consideraciones técnico-teóricas de diseño y fabricación necesarias para poder finalizar con éxito la producción en un determinado soporte mediante el diseño y fabricación de dos troqueles de complejidad media. En este caso en concreto, el utillaje a desarrollar corresponde con la demanda del cliente de una pieza denominada “soporte pulsador”.

Este proyecto se podría ampliar en un futuro con los apartados en los que se hace referencia a puntos de interés como: Análisis de tiempos y costes, vida útil de matriz, macho y punzones... control de calidad, posibles mejoras...

2.1 INTRODUCCIÓN

Para la realización de este proyecto, lo que se tiene en mente hacer, es el diseño y fabricación de un troquel doblador y un troquel cortante, para después estudiar los ciclos que realiza y por último, las posibles mejoras para la optimización de los mismos.

Para la realización de esta pieza, se utilizará el proceso de conformado en frío mediante un troquel doblador que da la forma a la pieza, y

seguidamente, un troquel de corte que realiza los agujeros y da el contorneado exterior de la pieza.

Teniendo la geometría de la pieza a obtener, se diseña y fabrican los utillajes, matrices y demás elementos que hagan un conjunto perfecto para su realización.

Una vez diseñados los utillajes, se realizará un estudio con F.E.M para ver si se puede optimizar la geometría, fuerza de corte o tiempos de coste.

2.2 PROCESOS DE DEFORMACIÓN PLÁSTICA

La deformación plástica es aquella en la que el cuerpo no recupera su forma original al retirar la fuerza que le provoca la deformación.

En los materiales metálicos, la deformación plástica ocurre mediante la formación y movimiento de dislocaciones. Un mecanismo de deformación secundario es el maclado (formación de maclas).

Estos mecanismos de deformación plástica (maclas y dislocaciones) se activan cuando la tensión aplicada supera a la tensión de fluencia del material.

Es decir, en un ensayo de tracción, a la tensión de fluencia finaliza la zona de deformación elástica y comienza la zona de deformación plástica (la tensión deja de ser proporcional a la deformación).

2.2.1 PROCESOS DE DEFORMACIÓN DE LÁMINA O CHAPA

Los procesos más característicos de la deformación plástica de lámina o chapa son los siguientes:

Doblado: Es un proceso de conformado sin separación de material y con deformación plástica utilizado para dar forma a chapas. En posteriores apartados se profundizará en este proceso de fabricación.

Embutido: La embutición es un proceso tecnológico de conformado plástico que consiste en la obtención de piezas huecas con forma de recipiente a partir de chapas metálicas. Este proceso permite obtener piezas de formas muy diversas y es una técnica de gran aplicación en todos los campos de la industria. En la embutición de una pieza se parte de una porción de chapa que descansa sobre la matriz, mientras el pisador la mantiene sobre esta y el punzón ejerce la presión necesaria para conformar la pieza provocando la fluencia del material a través de la cavidad abierta en la matriz.

La pieza va a conformarse en función de la forma de la abertura de la matriz y la forma del punzón, mientras que el pisador va a evitar el pandeo del material al tratarse de formas generalmente no desarrollables.

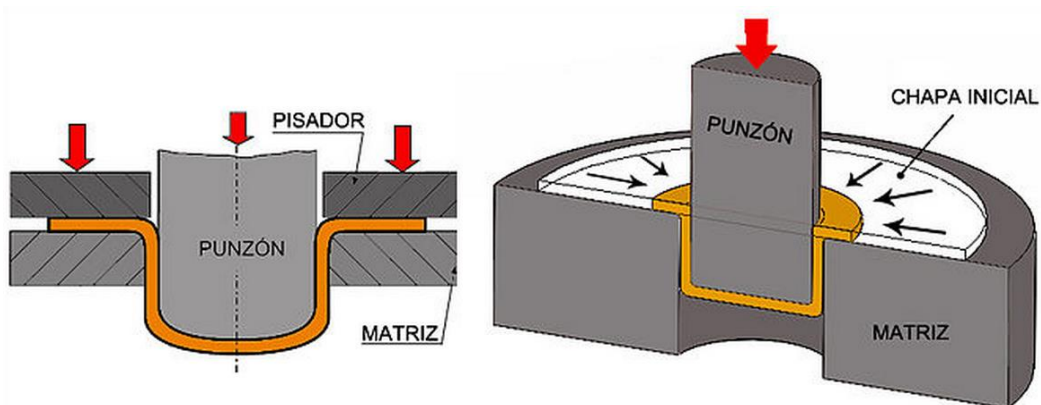


Figura 2.1. Esquema de Embutición

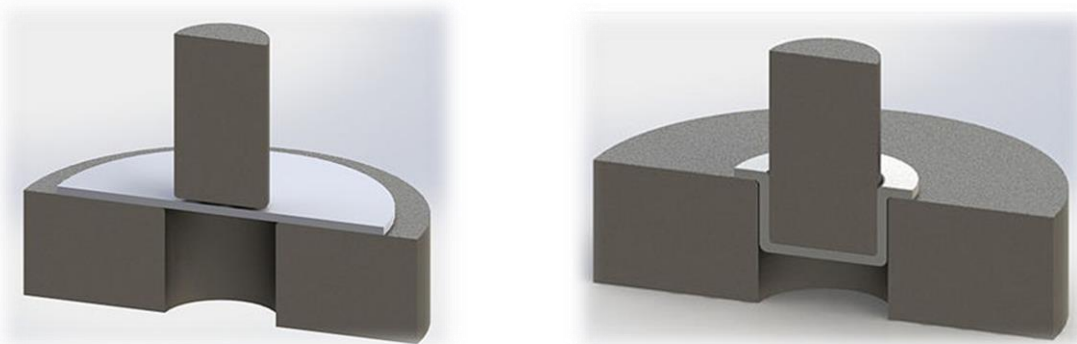


Figura 2.2. Antes de la acción del punzón, y acción del punzón sobre la chapa.

El flujo de material en piezas con forma irregular es muy complejo, por este motivo se expone el caso más sencillo: el embutido del vaso o embutido cilíndrico. La chapa inicial para embutir un vaso cilíndrico es de geometría circular y durante el proceso de embutido esta silueta circular fluye hacia el centro de la matriz a medida que el punzón desciende y obliga al material a pasar por la abertura de dicha matriz. Durante este proceso las diferentes zonas de la chapa o pieza se van a ver sometidas a diversos esfuerzos y tensiones. El proceso sigue las siguientes fases:

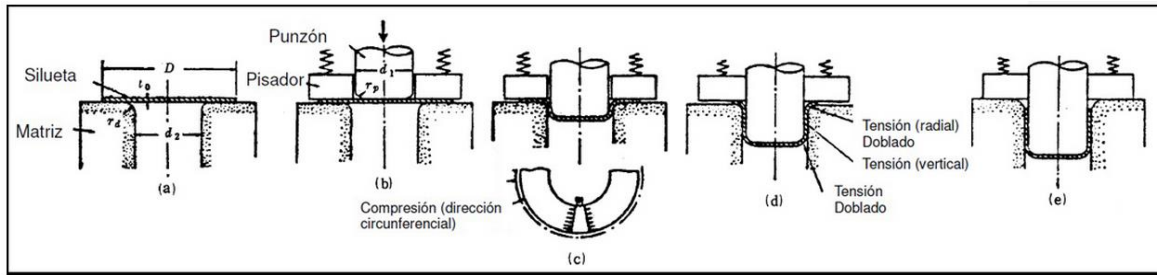


Figura 2.3. Fases de embutición

- (1) Se coloca una silueta circular con espesor t_0 y diámetro D sobre la superficie de la matriz que tiene una abertura con el diámetro d_2 . Normalmente, en la arista de la abertura de la matriz está aplicado un radio r_d (Figura a).
- (2) El pisador pisa la chapa y se inserta el punzón con el diámetro d_1 en la dirección del eje. El extremo del punzón tiene el radio r_p . Este mismo radio queda como el radio del fondo del vaso embutido (Figura b).
- (3) Conforme el punzón se introduce en la matriz, se embute la parte central de la silueta progresivamente mientras el perímetro de la silueta se desliza sobre la superficie de la matriz y se traslada hacia el interior de la misma (Figura c).
- (4) Al encoger la circunferencia de la silueta se generan esfuerzos de compresión en la dirección circunferencial de la chapa, los cuales pueden provocar el pandeo y producir arrugas. Para evitar este fenómeno se sujeta la silueta con el pisador (Figura c).
- (5) En el momento de que se embute la chapa, se comprime en la dirección circunferencial y se dobla recibiendo la tensión en la dirección radial simultáneamente en la boca de la abertura de la matriz. De igual manera la parte que tiene contacto con la cabeza del punzón recibe la tensión, sobre todo las zonas de los radios de matriz y punzón son la que recibe la mayor tensión del doblado. La zona cilíndrica entre r_d y r_p , la cual corresponde a la pared lateral del recipiente se estira verticalmente (Figura d).
- (6) Así la silueta avanza gradualmente a través de la abertura de la matriz recibiendo diversas fuerzas y deformándose. Si el material resiste los esfuerzos que se generan durante este proceso, la pieza se conformará plásticamente y alcanzando su forma final.

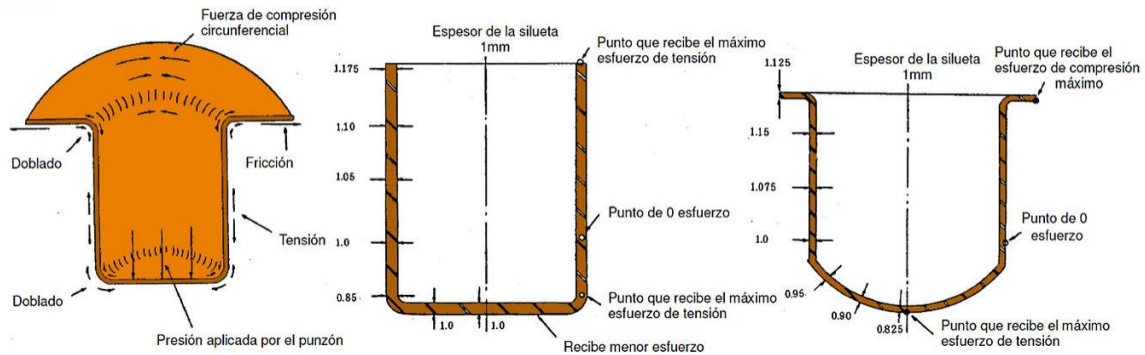


Figura 2.4. Esfuerzos generados durante el proceso

Los esfuerzos generados durante el proceso son muy importantes ya que mientras el punzón aplica la presión en el fondo del vaso, la lámina entre el fondo y la pared del mismo se estira considerablemente. Durante el embutido de la chapa, la silueta exterior de la misma disminuye en diámetro y la zona cercana a esta silueta tiende a incrementar su espesor como consecuencia de las fuerzas de compresión que se generan durante el proceso en esta zona (tendencia a aparecer arrugas por pandeo, fenómeno que evita el pisador).

La variación de espesor del material está directamente relacionada con el flujo del mismo. En un vaso con fondo plano, la variación de espesor en el fondo es mínima siendo el esfuerzo generado en esta zona mínimo y la deformación permanente inexistente. En un vaso cuyo fondo fuese esférico, el esfuerzo aplicado a esta zona sí que provoca una disminución de espesor del fondo asociada a las tensiones generadas en dicha lámina.

La dimensión y geometría de la chapa inicial se debe calcular en función del diseño de la pieza final a embutir por lo cual la idea de partida general es que la superficie de chapa inicial corresponderá al desarrollo de la pieza final embutida. Esto no es cierto al 100% ya que no se considerarían las deformaciones del material.

Generalmente tras el embutido se procede al recorte y eliminación de orillas o "cejas" (rebordes), por lo que es muy importante considerar en el cálculo de la chapa inicial la necesidad de material suplementario en las zonas de la pieza a recortar. [3]

Hidroconformado: Consiste en el conformado de un material mediante la acción de un líquido sometido a presión (agua o emulsiones de agua y aceite). Puede dividirse en tres pasos básicos:

- Carga de la pieza (tubular o chapa) en la prensa
- Llenado del tubo o de la matriz con líquido
- Conformado de la pieza mediante la acción simultánea de fuerza axial (en caso de tubos) y presión interna (pudiendo llegar hasta los 10.000 bares)

Los elementos del hidroconformado se componen principalmente del fluido de trabajo, y los materiales hidroconformables:

El fluido, principalmente agua, suele llevar añadido algún tipo de lubricante. A altas temperaturas se ha tenido que eliminar el agua, empleándose únicamente aceite (hidroconformado en caliente), o incluso algún gas para muy altas temperaturas de conformado (Hot Metal Gas Forming). En ocasiones es además necesario añadir algún tipo de lubricante en la cara seca de la chapa o tubo. El uso de lubricantes está principalmente justificado para favorecer la fluencia del material (al reducir la fricción con los elementos fijos) y aumentar así el grado de hidroconformado que es capaz de absorber la pieza. En cualquier caso, la elección de los fluidos de trabajo y de los lubricantes es función de cada proceso en particular con sus características y no del hidroconformado en general.

Respecto a los materiales hidroconformables, el más empleado hoy en día es el acero, aunque todos los metales que pueden conformarse en frío son válidos para el hidroconformado. La elección del material a emplear está ligada a los requerimientos de la pieza final y a los límites del proceso. La selección de materiales depende en última instancia de la aplicación de la pieza. Por otra parte las aleaciones ligeras, como las de aluminio resultan ser más propensas a rotura por deformación en frío por lo que puede resultar favorable realizar el hidroconformado a temperaturas mayores para aumentar así la maleabilidad del material de partida.

Hay diferentes tipos de hidroconformado, entre los que destacan: hidroconformado de chapa e hidroconformado de tubos:

Hidroconformado de Chapa, Simple

Se basa en la utilización de un fluido a presión para obligar a la chapa a adoptar la forma del punzón o del molde. El aumento de presión es obtenido mediante sistemas hidráulicos (bombas o intensificadores de presión). El hidroconformado de chapa simple puede realizarse con una membrana

intermedia entre el fluido de trabajo y la pieza a conformar o directamente sin la membrana, habiendo contacto entre el fluido y la pieza.

Hidroconformado de Chapa, Con matriz

Se define así el que utiliza una matriz que sirve como negativo de la forma final de la pieza en una de las caras y un mecanismo hidráulico que proporciona el fluido a presión (puede estar incluido tanto en la matriz superior como en la inferior) para empujar la chapa contra la matriz. El material se expande por la presión del fluido en el interior de una matriz con forma de cavidad cerrada.

El material se deforma por la presión interna. Las fases del proceso son las siguientes:

1. La chapa no deformada se sitúa en la matriz.
2. Se cierra la prensa y se aplica una presión inicial de pre-conformado para colocar bien la chapa.
3. La matriz superior (entendiendo por esto la membrana) es desplazada por la presión para deformar la chapa durante la primera etapa de conformado.
4. Tras despresurizar el fluido, se abre la prensa y se retira la chapa aplicándole en caso necesario un posterior tratamiento térmico para eliminar las tensiones mecánicas del material.

Hidroconformado de Chapa, Con punzón

Este proceso se basa en que se posiciona la chapa sobre una matriz, que sella solamente su perímetro. A continuación se deforma el material con una prensa hidráulica convencional y se introduce líquido a presión.

En ocasiones el material de partida presenta una preforma (pretensado) en la dirección opuesta al impacto de la prensa por medio de una aplicación de la presión previa al accionamiento del punzón. De este modo el material sufre un trabajo de endurecimiento, muy difícil de conseguir por otros métodos tradicionales de embutición profunda. También es posible dejar fija la matriz que hace de negativo, siendo el fluido de trabajo el que actúe como punzón.

Se puede ver los pasos del hidroconformado con punzón en el siguiente esquema:

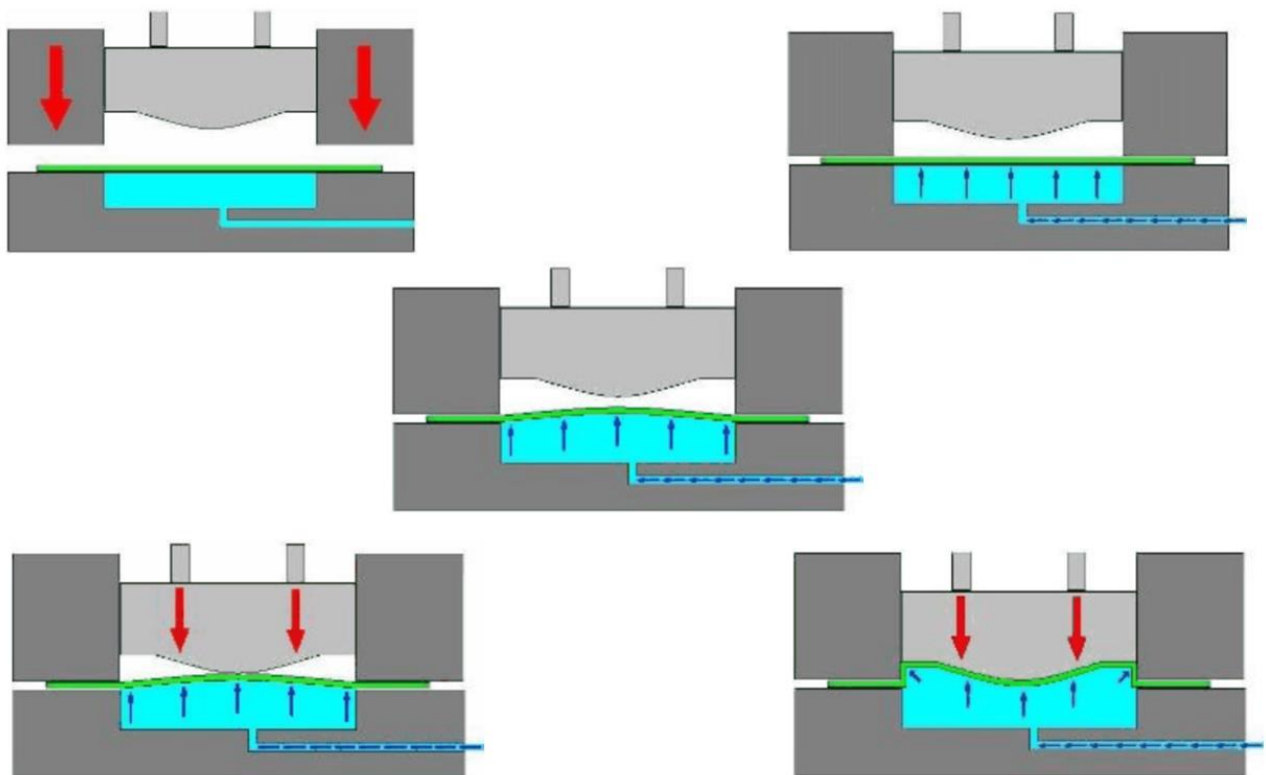


Figura 2.5. Pasos de hidroconformado de chapa

Hidroconformado de Chapa Doble

Se caracteriza por conformar simultáneamente dos piezas en un molde al introducir un fluido a alta presión en el hueco entre ambas piezas y obligar a las chapas adoptar la forma del molde. Por este método se consiguen elementos estructurales huecos y piezas de tipo depósito. También pueden ser empleados para fabricar parejas de piezas que pueden tener diferentes geometrías, distintos espesores e incluso ser de diferentes materiales, pero debiendo tener siempre la misma área proyectada. En este caso las matrices inferior y superior serán distintas, cada una con la geometría de la pieza correspondiente. La ventaja de este proceso es que podemos obtener dos piezas en cada ciclo, provocando un incremento en la productividad.

Hidroconformado de Tubo

Consiste en el conformado de un tubo de acero contra las paredes de una matriz, mediante la introducción de un fluido a presión. Pudiendo emplearse además una compresión simultánea para evitar un excesivo adelgazamiento del espesor del tubo en las zonas sometidas a una fuerte expansión. El tubo de partida, recto o preconformado (prebending) con diferentes curvados, tiene sección constante y la pieza final puede tener sección variable y/o salientes localizados en zonas concretas de la pieza, obteniéndose unas formas suaves. Suele tener dos matrices, que permiten alojar en su interior el tubo inicial a deformar. El sistema de anclaje se realiza por los extremos del tubo que garantizan su forma final durante su conformado, ya que “siguen” el movimiento del tubo cuando este se deforma.

A continuación se enumeran los pasos de este tipo de hidroconformado:

1. Tubos rectos o pre-deformados se introducen primero en la matriz.
2. La matriz se cierra por un proceso hidráulico que puede conformar de manera mecánica el tubo durante el cierre.
3. Los punzones de sellado cierran las extremidades del tubo y se inicia el llenado.
4. El material se expande por el incremento de presión del líquido que se realiza conjuntamente con el avance simultáneo de los punzones de sellado, fluye hacia el interior de las zonas de conformado y da la configuración final de la pieza.

HIDROCONFORMADO DE TUBOS

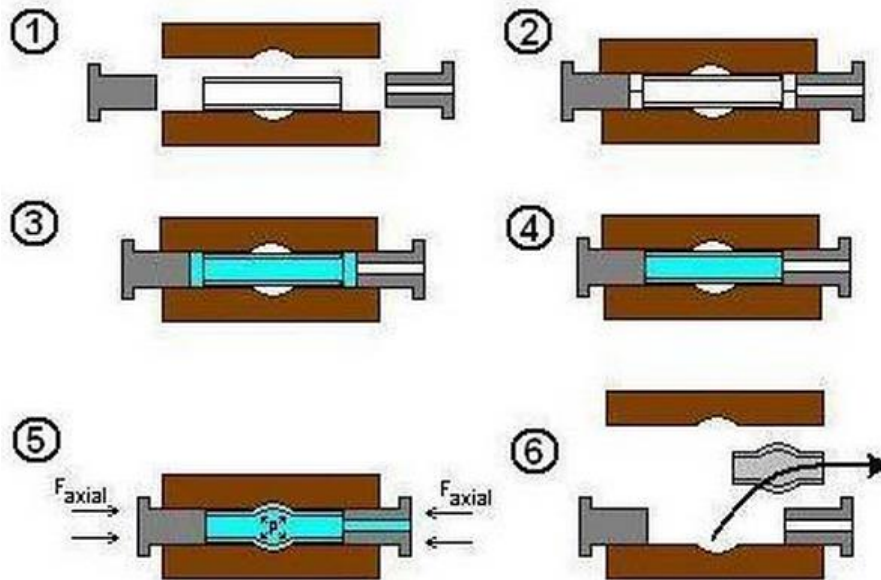


Figura 2.6. Pasos de hidroconformado de tubos

Los tres modos principales de problemas encontrados durante el hidroconformado son: la fractura, las arrugas y el pandeo, provocados por la alta presión interna en el primer caso o por la alta carga de compresión en el tubo o una presión interna insuficiente en los otros casos. [3]

Troquelado: Es la operación mecánica que se utiliza para realizar agujeros en chapas de metal, láminas de plástico, papel o cartón. En apartados posteriores se especificará sobre este tipo de procesos de deformación plástica. [6]

Laminación: Es el proceso industrial por medio del cual se reduce el espesor de una lámina de metal o de materiales semejantes con la aplicación de presión mediante el uso de distintos procesos, como la laminación de anillos o el laminado de perfiles. Por tanto, este proceso se aplica sobre materiales con un buen nivel de maleabilidad. La máquina que realiza este proceso se conoce como laminador.

El laminado puede ser en frío o en caliente. El laminado en caliente suele ser la primera etapa del proceso de transformación de materiales fundidos en productos acabados, pudiendo producirse grandes reducciones de sección. Es importante que toda la masa del metal se caliente uniformemente hasta la temperatura conveniente antes de sufrir la deformación y esta suele realizarse con una temperatura bastante mayor a la de la recristalización que

tiene el metal, ya que se pueden producir problemas de agrietamiento y rotura. Los productos acabados más habituales por laminación en caliente son: chapas, barras, flejes y redondos que serán utilizados posteriormente en operaciones de conformado en frío o de mecanizado. La forma actual del laminado en caliente deriva del proceso patentado por el británico Henry Cort en 1783, el cual tuvo tal impacto que él es popularmente conocido como «el padre de la laminación».

En cuanto a la laminación en frío, se pueden obtener piezas totalmente acabadas con excelente acabado y características mecánicas. En este caso, no pueden producirse grandes reducciones en la sección. [5]

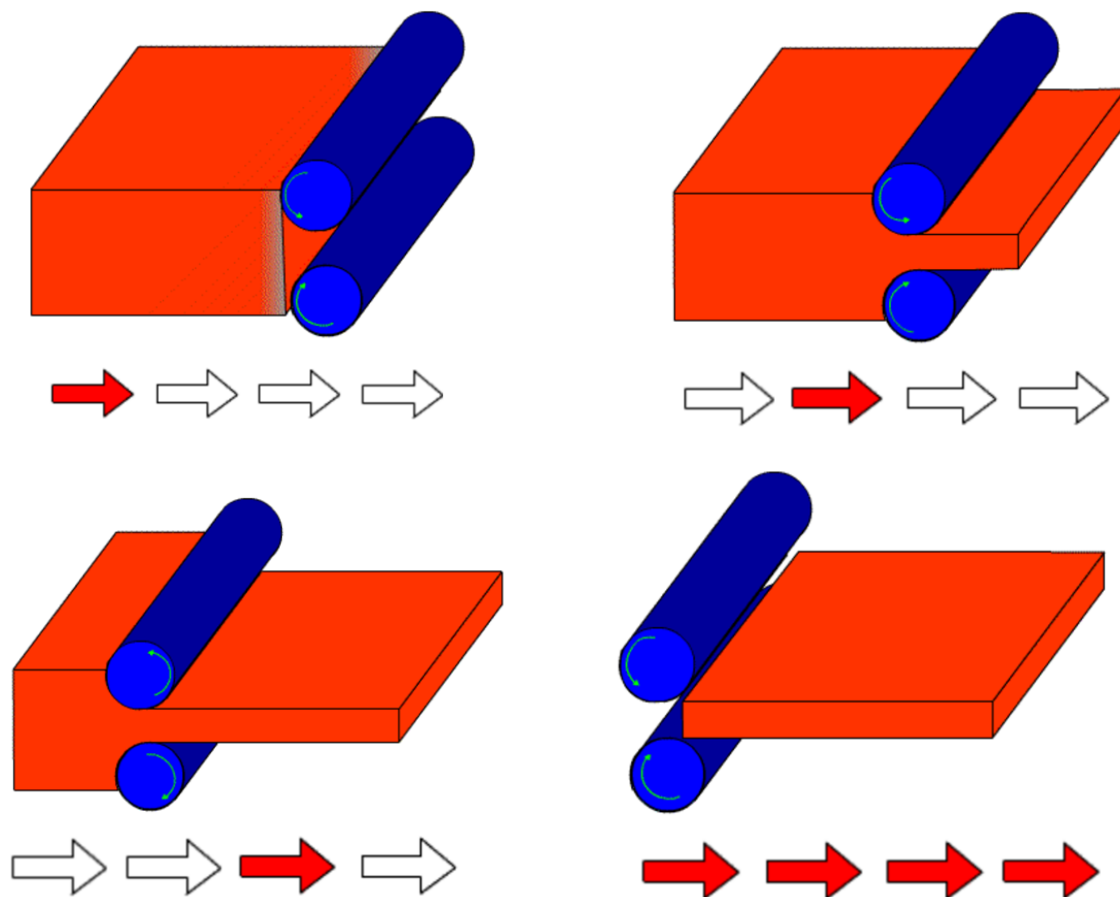


Figura 2.7. Pasos de Laminación

2.2.2 PROCESOS DE DEFORMACIÓN DE BLOQUES

Los procesos más característicos de la deformación plástica de bloques son los siguientes:

Forja: Es un proceso de conformado por deformación plástica que puede realizarse en caliente o en frío y en el que la deformación del material se produce por la aplicación de fuerzas de compresión.

Este proceso de fabricación se utiliza para dar una forma y unas propiedades determinadas a los metales y aleaciones a los que se aplica mediante grandes presiones. La deformación se puede realizar de dos formas diferentes: por presión, de forma continua utilizando prensas, o por impacto, de modo intermitente utilizando martillos pilones.

Hay que destacar que es un proceso de conformado de metales en el que no se produce arranque de viruta, con lo que se produce un importante ahorro de material respecto a otros procesos, como por ejemplo el mecanizado.

En la actualidad el forjado es un proceso industrial importante, mediante el cual se hacen una variedad de componentes de alta resistencia para automóviles, vehículos aeroespaciales y otras aplicaciones. La industria del acero y de otros metales básicos usa el forjado para fijar la forma básica de grandes componentes que luego se mecanizan para lograr su forma final y dimensiones definitivas. Los principales tipos de forja que existen son:

- Forja libre.
- Forja con estampa.
- Recalado.
- Forjado isotérmico.

Forja libre

Es el tipo de forja industrial más antiguo y se caracteriza porque la deformación del metal no está limitada (es libre) por su forma o masa. Se utiliza para fabricar piezas únicas o pequeños lotes de piezas, donde normalmente éstas son de gran tamaño. Además este tipo de forja sirve como preparación de las preformas a utilizar en forjas por estampa.

Existen dos tipos de forja libre:

- La forja con martillo: donde el lingote del desbaste se apoya en yunque inferior y este a su vez en la "chabota" produciéndose la deformación por los fuertes golpes de la maza que cae sobre el lingote.
- La forja en prensa: los lingotes grandes se sitúan entre el yunque superior y el inferior de prensas hidráulicas.

Forja con estampa

Este tipo de forja consiste en colocar la pieza entre dos matrices que al cerrarse conforman una cavidad con la forma y dimensiones que se desean obtener para la pieza. A medida que avanza el proceso, ya sea empleando martillos o prensas, el material se va deformando y adaptando a las matrices hasta que adquiere la geometría deseada. Este proceso debe realizarse con un cordón de rebaba que sirve para aportar la presión necesaria al llenar las zonas finales de la pieza. El proceso de estampado termina cuando las dos matrices llegan a ponerse prácticamente en contacto. Se utiliza para fabricar grandes series de piezas cuyas dimensiones y geometrías pueden variar ampliamente. Las dimensiones de estas piezas van desde unos pocos milímetros de longitud y gramos de peso hasta varios metros y toneladas, y sus geometrías pueden ser simples o complejas.

Se puede realizar en caliente (1000°), en semicaliente (entre 850°C y 1250°C) o en frío (temperatura ambiente). Las temperaturas también dependen del material de la pieza. [4]

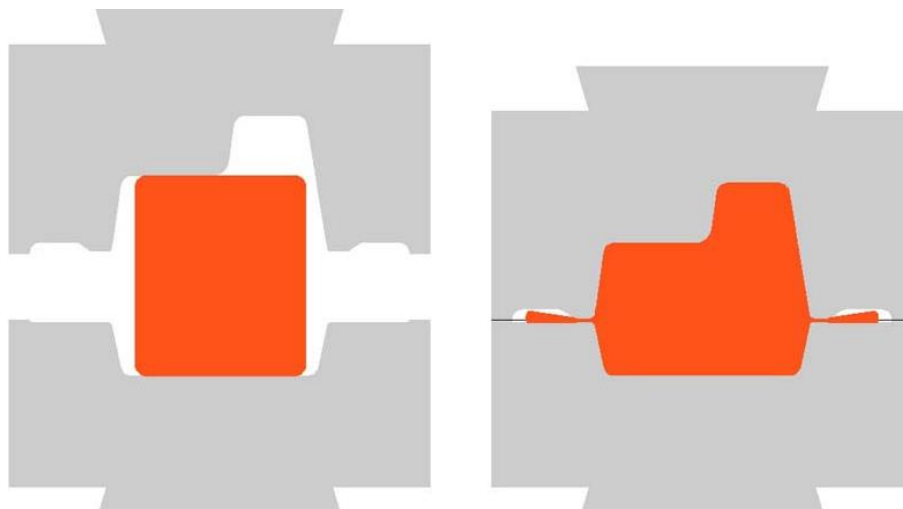


Figura 2.8. Pasos de forja por estampación

Extrusión: Es un proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija. El material se empuja o se extrae a través de un troquel de una sección transversal deseada. Las dos ventajas principales de este proceso por encima de procesos manufacturados son la habilidad para crear secciones transversales muy complejas y el trabajo con materiales que son quebradizos, porque el material solamente encuentra fuerzas de compresión y de cizallamiento. También las piezas finales se forman con una terminación superficial excelente.

La extrusión puede ser continua (produciendo teóricamente de forma indefinida materiales largos) o semicontinua (produciendo muchas partes). El proceso de extrusión puede hacerse con el material caliente o frío.

Los materiales extruidos comúnmente incluyen metales, polímeros, cerámicas, hormigón y productos alimenticios.

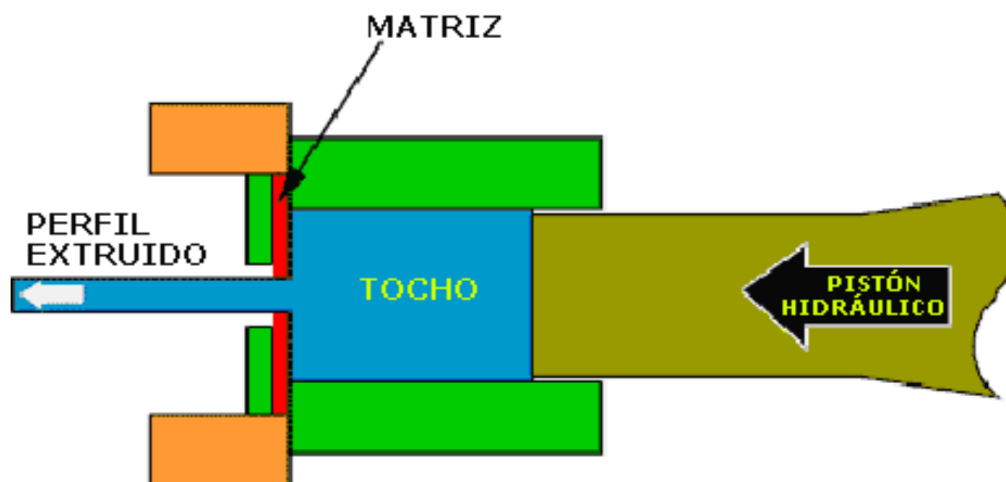


Figura 2.9. Esquema de Extrusión directa

Básicamente existen tres tipos de extrusión:

- **Extrusión directa:** La extrusión directa, también conocida como extrusión delantera, es el proceso más común de extrusión. Éste trabaja colocando la barra en un recipiente fuertemente reforzado. La barra es empujada a través del troquel por el tornillo o carnero. Hay un “dummy block” entre el tornillo y la barra para mantenerlos separados. La mayor desventaja de este proceso es la fuerza requerida en la extrusión de la barra, es mayor que la necesitada en

la extrusión indirecta porque la fuerza de fricción introducida por la necesidad de la barra de recorrer completamente el contenedor. La mayor fuerza requerida se da al comienzo del proceso y decrece según la barra se va agotando. Al final de la barra la fuerza aumenta porque la barra es delgada y el material debe fluir para salir del troquel.

- Extrusión indirecta: En la extrusión indirecta, también conocida como extrusión retardada, la barra y el contenedor se mueven juntos mientras el troquel está estacionario. El troquel es sostenido en el lugar por un soporte el cual debe ser tan largo como el contenedor. La longitud máxima de la extrusión está dada por la fuerza de la columna del soporte. Al moverse la barra con el contenedor, la fricción es eliminada.
 - o Ventajas:
 - Una reducción del 25 a 30% de la fuerza de fricción, permite la extrusión de largas barras.
 - Hay una menor tendencia para la extrusión de resquebrajarse o quebrarse porque no hay calor formado por la fricción.
 - El recubrimiento del contenedor durará más debido al menor uso.
 - Defectos de la extrusión y las zonas periféricas ásperas o granulares son menos probables.
 - o Desventajas:
 - Las impurezas y defectos en la superficie de la barra afectan la superficie de la extrusión. Antes de ser usada, la barra debe ser limpiada o pulida con un cepillo de alambres.
 - Este proceso no es versátil como la extrusión directa porque el área de la sección transversal es limitada por la máxima longitud de la pieza.

Extrusión hidrostática: En la extrusión hidrostática la barra es completamente rodeada por un líquido a presión, excepto donde la barra hace contacto con el troquel. Este proceso puede ser hecho caliente, tibio o frío. De cualquier modo, la temperatura es limitada por la estabilidad del fluido usado.

- Ventajas:
 - No existe fricción entre el contenedor y la barra, reduciendo la fuerza requerida. Esta finalmente permite mayores velocidades, proporciones de la reducción más altas y menores temperaturas de la barra.
 - Usualmente la ductilidad del material disminuye cuando son aplicadas altas presiones.
 - Pueden ser extruidas largas barras y largas secciones transversales.

- Desventajas:
 - Las barras deben ser preparadas, reduciendo la sección de un extremo para que coincida con el ángulo de entrada del troquel. Esto es necesario para formar un sello al principio del ciclo. Usualmente las barras enteras necesitan ser pulidas para quitarles cualquier defecto de la superficie.
 - Contener el fluido en altas presiones es costoso.

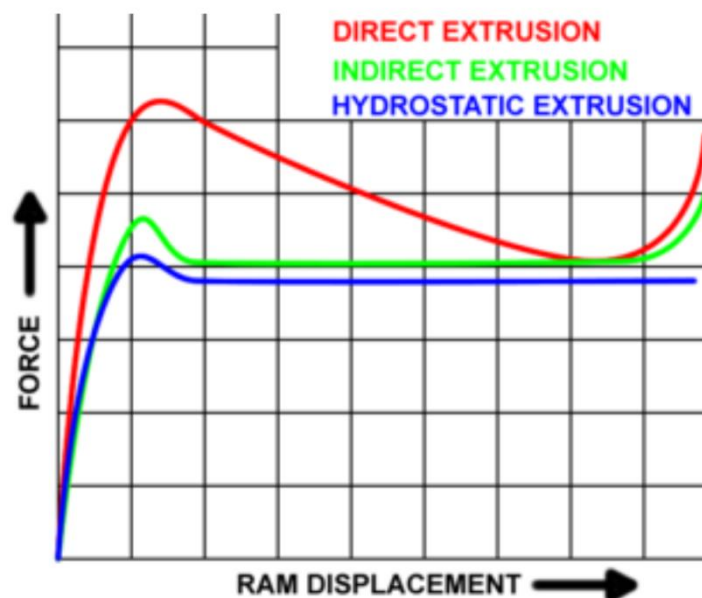


Figura 2.10. Diagrama Fuerza/Desplazamiento de los 3 tipos de Extrusionado

2.3 CONFORMADO DE PIEZAS MEDIANTE TROQUELADO Y ESTAMPADO EN FRÍO

Para definir comprender mejor el proyecto, en este punto se va a explicar los diferentes procesos de conformado mediante troquelado y estampado en frío, explicando sus aspectos más importantes.

2.3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

Troquelado: El corte por troquelado de una plancha, metálica frecuentemente, consiste en una operación mecánica, mediante la cual, y con la aplicación de los útiles adecuados, puede obtenerse una figura de carácter geométrico, en forma de superficie plana o curva, de manera instantánea.

Para realizar esta tarea, se utilizan desde simples mecanismos de accionamiento manual hasta sofisticadas prensas mecánicas de gran potencia.

Los elementos básicos de una troqueladora lo constituyen el troquel que tiene la forma y dimensiones del agujero que se quiera realizar, y la matriz de corte por donde se inserta el troquel cuando es impulsado de forma enérgica por la potencia que le proporciona la prensa mediante un accionamiento de excéntrica que tiene y que proporciona un golpe seco y contundente sobre la chapa, produciendo un corte limpio de la misma.

Esta operación se desarrolla en el curso de un fenómeno de transformación plástica y, en la práctica, todas las operaciones de estampado, punzonado y matrizado, en general, se desenvuelven alrededor de este fenómeno.

Si se sigue despacio el proceso del corte de una pieza, se observa que el macho de corte, al descender, ejerce sobre la plancha una presión continuada; a este esfuerzo se le opone la reacción propia del material, hasta el instante en que el esfuerzo de compresión originado por el propio macho de corte es superior a la resistencia propia del material, siendo entonces separada la pieza metálica, obtenida por el lado opuesto al ataque del macho de corte.

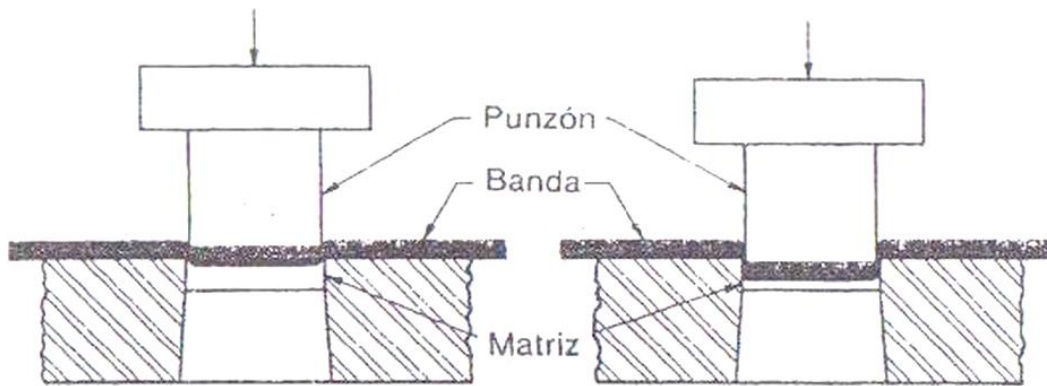


Figura 2.11. Pasos de Troquelado

Existe una relación mínima entre el diámetro de la pieza cortada y el espesor del material; cuando el espesor de la plancha que se ha de cortar es superior al diámetro del macho de corte, la resistencia de corte es superior al esfuerzo que puede soportar el macho de corte, originándose la rotura de éste. En estas condiciones puede admitirse que el espesor de la plancha debe ser igual o menor que el diámetro del macho de corte.

Teóricamente se admite que la relación $\frac{S}{D}$ entre el espesor y el diámetro debe ser de 1,2; expresándolo de distinta manera se puede decir que $S_{m\acute{a}x}=1,2 \cdot D$ para las condiciones límites.

Lo expresado anteriormente se refiere exclusivamente a plancha de hierro o acero dulce y machos de corte de acero templado. Fácilmente se comprende que, al reducirse la resistencia mecánica del material cortado, esta condición límite puede mejorarse.

 ngulo de escape del contorno de la figura matriz

Se ha visto anteriormente que las piezas, antes de ser cortadas, sufren una deformación, inmediatamente después del corte, aparece una recuperación elástica que hace que las piezas quedan retenidas lateralmente dentro del contorno de la figura matriz. Fácilmente se comprende que la acción del corte de una segunda pieza presionar  sobre la primeramente cortada facilitando su expulsión; sin embargo, el esfuerzo requerido en el segundo corte será superior al primero, ya que se suma al esfuerzo cortante, la resistencia lateral, por fricción de la primera pieza cortada. Si éste se repite varias veces – a lo largo del espesor de la placa matriz, - se desarrolla un gran esfuerzo lateral en dicha placa, que puede originar la rotura de la misma. Por otra parte, el esfuerzo cortante habrá aumentado también considerablemente.

Con el fin de obviar esta dificultad, todo el contorno cortante de la matriz va experimentando un aumento paulatino, conforme va aumentando el espesor de la placa, de manera que al descender las piezas a lo largo de ésta, la resistencia de fricción lateral va disminuyendo, siendo despedidas al final las piezas por el fondo.

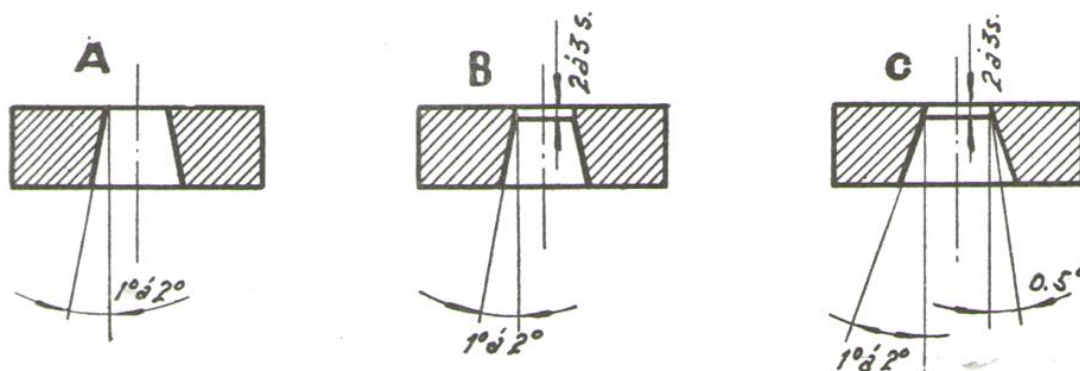


Figura 2.12. Tres formas de ángulo de escape

Existen diversas maneras de efectuar este ángulo de escape, que dependen corrientemente de la clase del material cortado y del número de piezas que se desea obtener:

- Fig. 13.A) A partir de la misma arista de corte. Se hace así frecuentemente en matrices destinadas al corte de metales blandos, como, por ejemplo, latón, aluminio, plomo, etc.
- Fig. 13.B) Dejando una parte recta a partir de la arista de corte, con una profundidad de dos o tres veces el espesor del material cortado. Este sistema se aplica en matrices destinadas a cortar metales duros, por ejemplo, hierro, acero, etc. con perfiles con pequeñas tolerancias.
- Fig. 13.C) A partir de la arista de corte de la matriz, el contorno, en un espesor de dos a tres veces el espesor del material, es ligeramente cónico y, a partir del espesor indicado, la conicidad aumenta rápidamente en un número mayor de grados. Se aplica también este procedimiento a metales muy duros que no requieren precisión en su contorno.

El número de grados de escape queda indicado en los dibujos de la Figura 13. Sin embargo, algunas veces, en útiles que deben ser muy económicos, porque el número de piezas a fabricar es pequeño, el número de grados puede aumentarse hasta 5° o 6° , facilitando con ello considerablemente la fabricación del útil. Caso de tener que ser utilizadas, estas placas, después

de haber perdido su filo, deberán ser ajustadas de nuevo; por este motivo se recomienda su empleo sin templar, para evitar tratamientos térmicos posteriores, que puedan perjudicar el acero.

Juego entre el punzón y la matriz

La precisión de los objetos fabricados mediante troquelado depende, como es lógico, de la exactitud con que ha sido construido el útil. Para formas geométricas sencillas, la medición puede efectuarse con facilidad mediante los instrumentos de precisión conocidos: micrómetros, comparadores, éstos pueden ser mecánicos, de lectura directa, ópticos y electro-mecánicos-ópticos.

Para la verificación de perfiles complicados, es corriente el empleo de proyectores ópticos de rayos paralelos, que amplifican varias veces, sin distorsión, la imagen o perfil de las piezas verificadas; esta imagen puede ser contrastada, superponiéndola, con un dibujo muy ampliado de la pieza, sobre una pantalla de cristal deslustrado.

En estas condiciones puede regularse la holgura o juego que debe existir entre el punzón y la matriz hasta el orden de centésimas de milímetro en los trabajos de precisión.

La razón de fabricar estos útiles con la holgura indicada viene impuesta corrientemente por la necesidad de reducir, en la medida de lo posible, la presión requerida para el corte.

Esta holgura afecta también notablemente a la uniformidad de las fracturas obtenidas. La presión es máxima cuando el diámetro del punzón es pequeño con relación a la sección del material, pero esta presión puede ser alterada según la holgura admitida. Sin embargo, las holguras tienen un punto crítico, en el cual proporcionan el máximo rendimiento dando piezas de bordes muy limpios con un esfuerzo razonable; fuera de este punto crítico, la presión requerida aumenta notablemente y el corte es defectuoso.

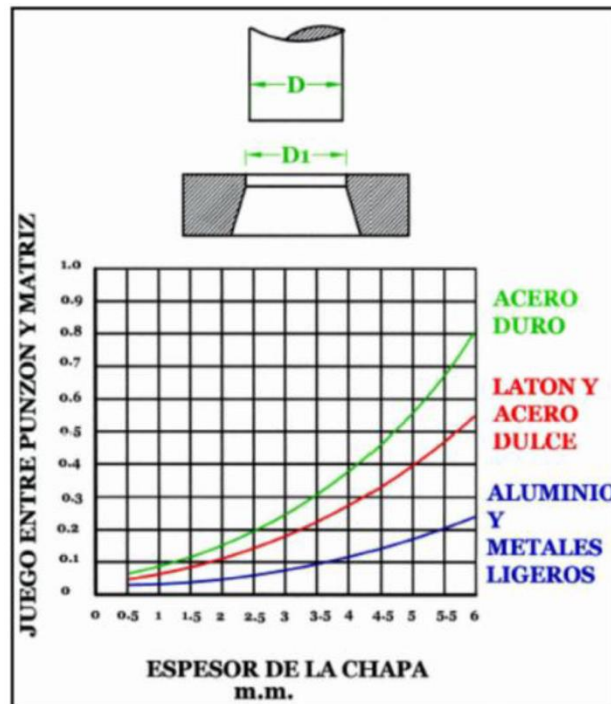


Figura 2.13. Forma de determinar gráficamente el juego entre punzón y matriz. (Rossi 1971)

Según ensayos y estudios realizados, se comprende que la elección de la holgura más conveniente en un útil de matricular es de suma importancia; frecuentemente, roturas en placas matrices, que son achacadas a tensiones internas producidas por el temple, tienen su verdadero origen en una holgura mal calculada.

Sin embargo, la determinación de este factor depende a su vez de otros, tales como el espesor del material, la clase y la calidad del mismo, que podrá ser duro, dulce o dúctil.

Para punzones muy pequeños, el juego, prácticamente, no debe existir, siempre y cuando el espesor del material sea pequeño. Sin embargo, para punzones de tamaño mayor y con un espesor de plancha adecuado, la holgura es ya un factor muy importante.

Esta holgura deberá ser mayor para el acero laminado duro que para el acero dulce y el latón.

Un aspecto que conviene destacar, respecto a las tolerancias a admitir, es que para los materiales muy dúctiles, como plomo, estaño, aluminio, la holgura debe ser mayor que para los metales duros, como, por ejemplo, el acero. Esto parece ser debido al gran estirado de estos materiales; si la holgura es pequeña, se produce un estirado lateral de los bordes de la pieza contra las

paredes de la matriz, lo que da origen a piezas de corte defectuoso y con rebabas.

Debe tenerse presente, que si el centrado entre el punzón y la matriz no es correcto, corta limpiamente mientras el filo de los elementos de corte es muy vivo, y cuando éste se embota ligeramente, las piezas comienzan a salir defectuosas. El mismo fenómeno ocurre cuando el punzón tiene, respecto a la matriz, una holgura inferior a la requerida. Por el contrario, si la holgura es excesiva, desde un principio las piezas serán defectuosas y con cortes poco limpios. Es evidente que las holguras, según sean asociadas a la matriz o disminuidas del punzón, afectarán las piezas fabricadas. Si el contorno exterior de la pieza debe ser exacto, la holgura deberá ser rebajada del punzón, dejando la matriz con sus dimensiones exactas. Es decir, en el caso de contornos exteriores exactos, la holgura se rebaja del punzón.

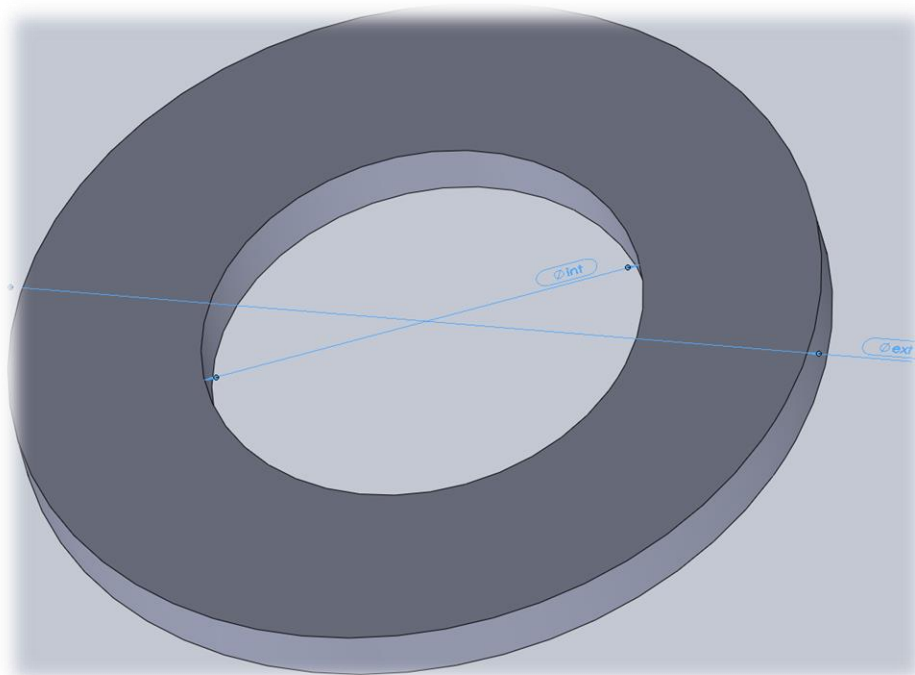


Figura 2.14. Arandela

El diámetro exterior de la arandela debe ser exacto. La Placa matriz se construirá de modo que sus dimensiones definitivas correspondan exactamente a las de la pieza acabada. El Punzón: su diámetro será disminuido con arreglo a la holgura admitida. El diámetro interior de la arandela debe ser exacto. La Placa matriz se construirá aumentando su diámetro según la holgura admitida. El Punzón deberá ser exactamente las dimensiones deseadas para la pieza acabada.

Por el contrario, si se trata de un contorno interior (por ejemplo, un agujero o taladro, sobre una pieza troquelada), la tolerancia debe ser sumada al contorno de la figura matriz, dejando el punzón con sus dimensiones exactas.

Según esto, y a modo de resumen, se puede decir que:

- Los perfiles exteriores de las piezas cortadas quedan a la medida de la matriz.
- Los agujeros de las piezas cortadas quedan a la medida del punzón.

Determinación de las presiones requeridas para el corte

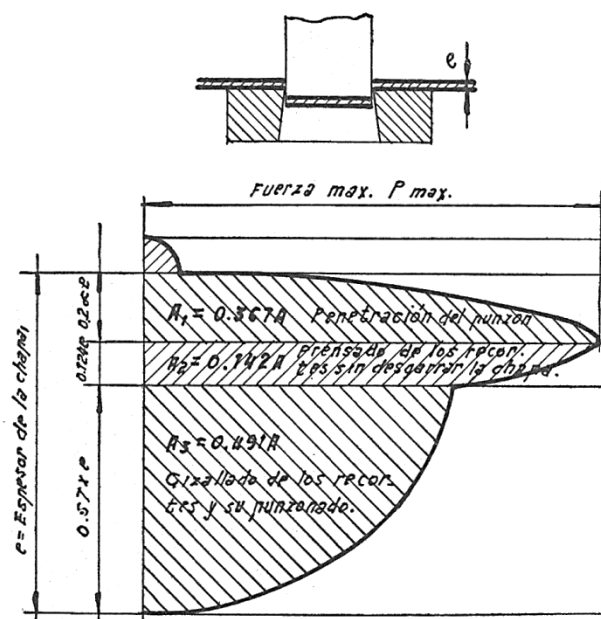


Figura 2.15. Gráfico de la variación de fuerza en el punzonado

El punzón, en el instante en que desciende y toma contacto con la plancha, inicia su acción de compresión, seguida inmediatamente del corte o punzonado. En todo el contorno definido por el punzón y la matriz aparece una presión continua por parte del punzón, y la reacción que se opone al esfuerzo aplicado, por parte del material. El punzón sigue presionando, en su descenso, hasta que la presión con que ataca es superior a la resistencia a la cizalladura del material, y entonces, bruscamente, queda cortada la pieza. Sin embargo, si cesase la acción de descenso del punzón, quedaría, por recuperación elástica, fuertemente adherida al contorno del material seccionado, formando una estructura única; de aquí que el punzón deba proseguir su efecto presionando las piezas recortadas, sin desgarrar o cizalladura por parte del material, hasta que

finalmente la pieza es expulsada de manera definitiva. Por lo que se ha visto, durante la carrera, el punzón desarrolla un esfuerzo para vencer la resistencia del material; después, al desaparecer este esfuerzo, aparece otro proveniente de las tensiones elásticas del material, que se desarrolla sin fenómeno alguno de cizalladura; cabe sumar a este esfuerzo el de la resistencia opuesta a la expulsión por las piezas cortadas. El tercer esfuerzo, ya decreciente es el originado por fricciones en el final de la carrera de penetración del punzón. El gráfico de la *Figura 16* muestra los esfuerzos desarrollados.

Las presiones de corte necesarias dependen fundamentalmente de la resistencia al cizallado. Cuando se desconoce este valor, puede tomarse la resistencia a la rotura por tracción. Este último dato, más corriente que el anterior, suele ser suministrado por los mismos fabricantes del material empleado. Sin embargo, la fuerza obtenida con el empleo de este dato suele ser siempre algo inferior al que se obtiene aplicando el valor de la resistencia de cizalladura. [3]

La magnitud de la fuerza de corte, conocido cualquiera de los dos valores, se encuentra en función del perímetro de la pieza cortada y del espesor del material. Llamando:

- **S** = Desarrollo del perímetro de la pieza a cortar, en mm.
- **e** = Espesor de la plancha cortada, en mm.
- **K_S** = Resistencia a la cizalladura, en Kg/mm² o MPa.
- **P** = Fuerza en Kgf.

Se tiene:

$$P = S \cdot e \cdot K_S$$

Estampado: Es un tipo de proceso de fabricación por el cual se somete un metal a una carga de compresión entre dos moldes. La carga puede ser una presión aplicada progresivamente o una percusión, para lo cual se utilizan prensas y martinets. Los moldes, son estampas o matrices de acero, una de ellas deslizante a través de una guía (*martillo* o *estampa superior*) y la otra fija (*yunque* o *estampa inferior*).

Si la temperatura del material a deformar es mayor a la temperatura de recristalización del metal, se denomina estampación en caliente, y si es menor, se denomina estampación en frío.

Estampado en caliente

Este tipo de estampación se realiza con el material a mayor temperatura que la temperatura de recristalización.

El producto obtenido tiene menor precisión dimensional y mayor rugosidad que cuando se trabaja en frío, pero es posible obtener mayores deformaciones en caliente.

Estampado en frío

La estampación en frío se realiza con el material a menor temperatura que la temperatura de recristalización, por lo que se deforma el grano durante el proceso, obteniendo anisotropía en la estructura microscópica. Suele aplicarse a piezas de menor espesor que cuando se trabaja en caliente, usualmente chapas o láminas de espesor uniforme.

Las principales operaciones de estampación en frío son:

- Embutición: Obtención de cuerpos huecos a partir de chapa plana.
- Curvado, plegado y doblado: Deformación por flexión entre matrices.

Los materiales utilizados en la estampación en frío son dúctiles y maleables, como el acero de baja aleación, las aleaciones de aluminio (preferentemente al magnesio, sin cobre), el latón, la plata y el oro.

Generalidades

El enorme desarrollo que han adquirido en estos últimos años las aplicaciones de la chapa fina para la fabricación de piezas para aviones, carrocerías de automóviles, aparatos electrodomésticos etc.; se ha debido en gran parte a tres causas principales:

- A la economía de la fabricación de las piezas de chapa por estampación en frío, cuando se producen en grandes series.
- A la uniformidad de las características mecánicas obtenidas de las piezas, ya que en la estampación no se produce ninguna transformación térmica que pueda alterar las propiedades iniciales de la chapa.
- Al excelente acabado superficial de las piezas, que no necesitan ninguna operación posterior, salvo pintura u otro recubrimiento

superficial para protegerlas de la oxidación o mejorar su aspecto desde un punto de vista puramente decorativo.

Debido a las exigencias de este proyecto, nos centraremos en el proceso de estampado, ya que es lo que nos interesa para conseguir la forma de la pieza a obtener.

Doblado

El doblado es un proceso de conformado sin separación de material y con deformación plástica utilizado para dar forma a chapas. Se utiliza, normalmente, una prensa que cuenta con una matriz –si es con estampa ésta tendrá una forma determinada- y un punzón -que también puede tener forma- que realizará la presión sobre la chapa. En el proceso, el material situado a un lado del eje neutro se comprimirá -zona interior- y el situado en el lado opuesto -zona exterior- será traccionado como consecuencia de los esfuerzos aplicados. Esto provoca también un pequeño adelgazamiento en el codo de la chapa doblada, cosa que se acentúa en el centro de la chapa.

A consecuencia de este estado de tracción-compresión el material tenderá a una pequeña recuperación elástica. Por tanto, si se quiere realizar un doblado, se tendrá que hacer en un valor superior al requerido para compensar dicha recuperación elástica. Otra posible solución es realizar un rebaje en la zona de compresión de la chapa, de esta forma se asegura que toda la zona está siendo sometida a deformación plástica. También podría servir estirar la chapa así se asegura que toda la zona supera el límite elástico.

Según el ángulo o la forma que se quiera dar al doblado existen matrices que proporcionan la forma deseada.



Figura 2.16. Dobladora de chapa

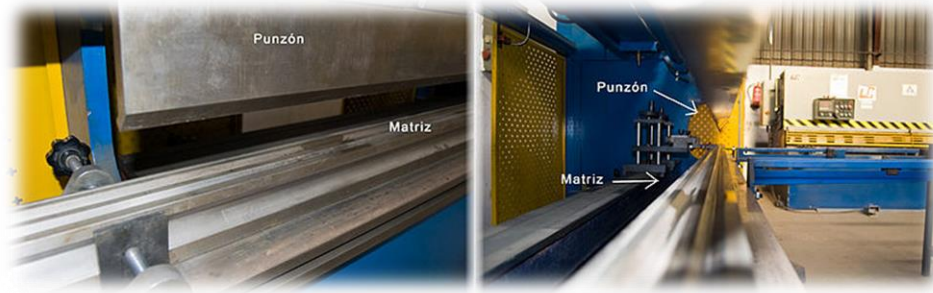


Figura 2.17. Detalle de matriz y punzón de dobladora

Los diferentes tipos de doblado se definen según como se realice el proceso de doblado. Podemos distinguir entre doblado en borde y doblado en V. Siendo D la dimensión de la matriz que será requerida para el cálculo de la fuerza necesaria para la operación de doblado.

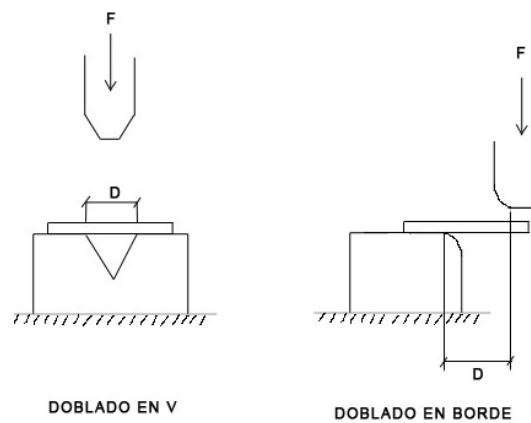


Figura 2.18. Tipos de doblado

El doblado complejo de una pieza exige a veces que el doblado tenga que realizarse en varias fases.

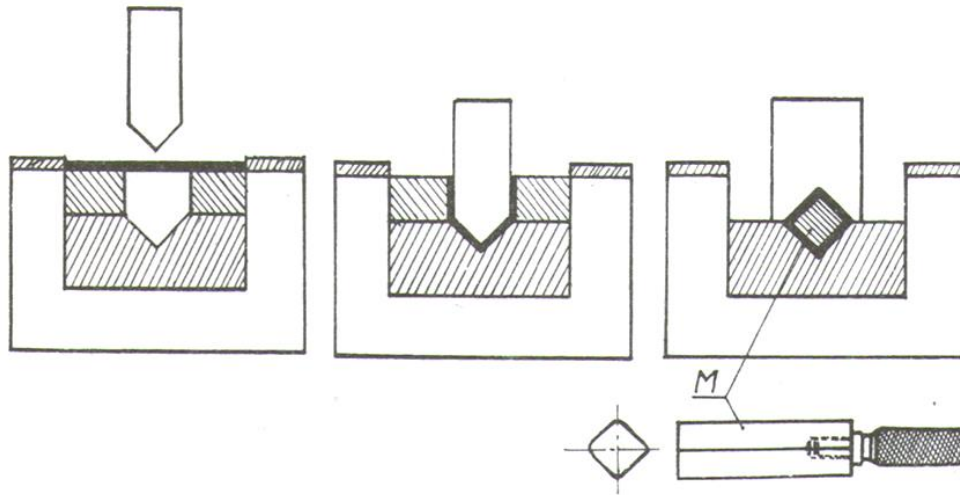


Figura 2.19. Doblado en fases

Desarrollo de una pieza doblada

Al doblar la pieza representada en sección en la figura 21, el material superficial comprendido entre B y C resulta comprimido y, en cambio, el comprendido entre B' y C' resulta estirado. A medida que se aproxima por cada cara de la chapa hacia el centro, va disminuyendo la deformación del material hasta llegar a una línea M N P Q, denominada línea neutra, en la que la chapa se ha doblado sin experimentar contracción ni dilatación.

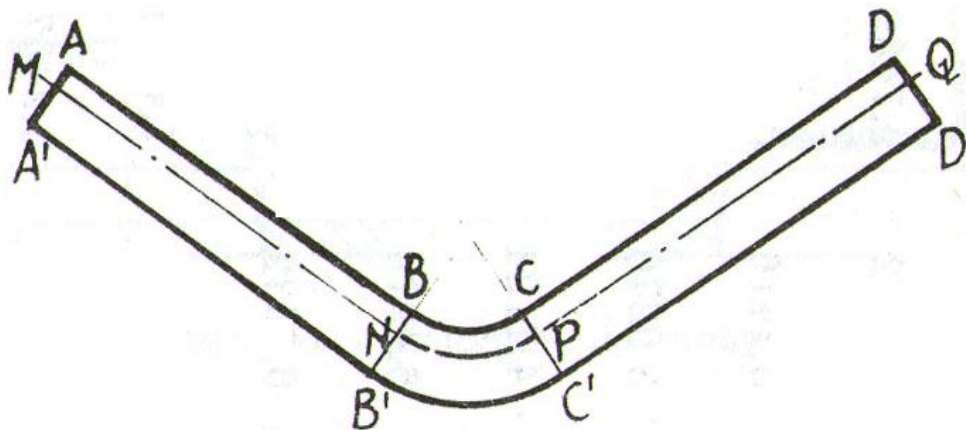


Figura 2.20. Desarrollo de una pieza doblada

Por tanto, el desarrollo real de una pieza doblada, o sea, la longitud de su sección una vez desdoblada se podrá calcular con mucha aproximación si se conoce la posición de la línea neutra.

Experimentalmente se ha llegado a comprobar que esta línea neutra está en la mitad del espesor de la chapa, si tiene un espesor inferior a 1mm. En cambio, la línea neutra está sobre el tercio más cercano de la curva inferior si los espesores son mayores.

Existen desarrollos ya calculados de las fibras neutras según el radio y espesor de las chapas, con cuya ayuda es muy fácil calcular el desarrollo de una chapa doblada. [4]

2.3.2 REPASO HISTÓRICO

Para realizar una aproximación a la situación actual en la que se encuentra la tecnología relacionada con los troqueles progresivos se presenta un reseña histórica en la que se muestra esquemáticamente como ha sido el desarrollo de la metalurgia y sus aplicaciones en las diferentes épocas y se aborda con mayor amplitud la aplicación del troquelado, los métodos artesanales y su evolución a procedimientos más sofisticados, precisos y productivos.

Se señalan asimismo, procedimientos de fabricación y organización que han contribuido a que los troqueles progresivos se hayan implantado y en estos momentos sea una herramienta muy utilizada para fabricar numerosos productos, a pesar de su complejidad.

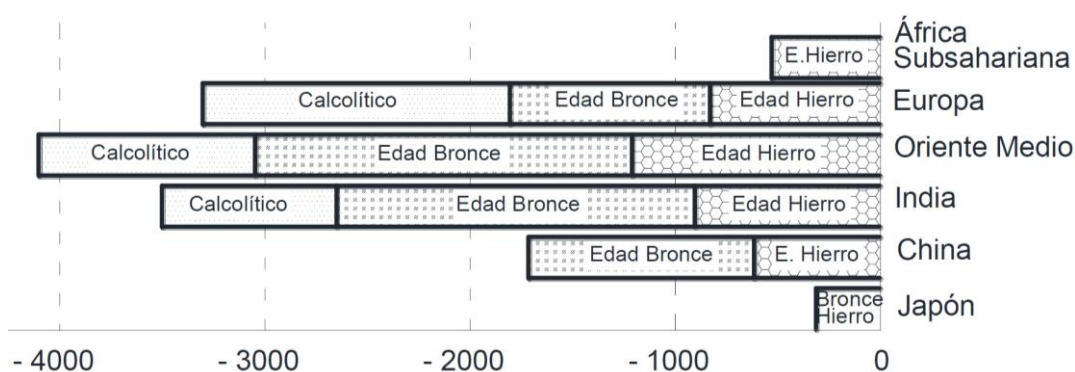


Figura 2.21. Línea del tiempo de la Edad de los Metales en el viejo mundo

El conformado metálico (forja y trabajo de chapa) es una de las tecnologías más usadas en la fabricación de productos metálicos, junto con la fundición y la pulvimetalurgia. Sin embargo, el conformado es posible que sea el más antiguo de los tres. Las referencias más antiguas del conformado describen el martilleo de oro y cobre en varias regiones de Oriente Medio alrededor del 8000 a. C. El conformado de estos metales era basto ya que el refinado por fundición no se conocía y porque la capacidad de trabajar el material estaba limitada por las impurezas que seguía habiendo después de que el metal se hubiera separado del mineral.

En la **Edad del Cobre** es en la que se descubre el cobre y la posibilidad de fundirlo, alrededor del 4000 a. C., obteniéndose un método útil para purificarlo mediante reacciones químicas en estado líquido. Posteriormente, se descubrió que el martilleo del metal aumentaba su resistencia (endurecimiento por deformación), así como su aleación con otros metales como las de cobre y estaño, dando lugar a la **Edad del Bronce**, hacia el tercer milenio a. C.

La **Edad del Hierro**, surge alrededor del siglo XII a .C., unos 1300 años después de la del Bronce. Aunque el hierro era conocido desde muy antiguo y se conocen algunas aplicaciones a partir de hierro meteórico y como objeto de gran lujo, pues era mucho más valorado que el oro o el cobre. La razón de este retraso se debe principalmente a la dificultad fundirlo y de depurarlo a partir de diferentes minerales de hierro.

Estado del arte

Los cambios fundamentales en los sistemas de fabricación que permitieron que surgiera la Revolución Industrial fueron: la fabricación de piezas intercambiables, los tornos y otras máquinas-herramientas que mejoraron la precisión de los productos fabricados de forma considerable y la fabricación en serie de piezas con gran precisión.

Estos cambios en la capacidad de producción fueron posibles gracias a la mayor utilización de las ruedas hidráulicas para el accionamiento de la maquinaria (principalmente en la industria textil), al descubrimiento de la máquina de vapor, al desarrollo de las máquinas-herramienta durante las dos primeras décadas del siglo XIX que permitieron la fabricación de máquinas de producción en otros sectores industriales.

Los efectos que estos cambios produjeron se extendieron por toda Europa Occidental y América del Norte durante el siglo XIX, afectando finalmente al resto del mundo, un proceso que continúa a medida que la industrialización se va implantando.

Puede decirse que el inicio de la Revolución Industrial está estrechamente relacionado con unas pocas innovaciones que tuvieron lugar en el siglo XVIII:

- Como en la industria textil, fueron un conjunto de innovaciones, como la hiladora continua multi-carrete y la máquina de hilar la lana o el algodón empleando la energía hidráulica.
- La máquina de vapor inventada por James Watt.
- Metalurgia del hierro, en la que el carbón se aplica en todas las etapas de la fundición del hierro, en sustitución del carbón vegetal. Ya se utilizaba mucho antes para el plomo y el cobre, así como para la producción de arrabio en alto horno, pero no en las etapas de

afino mediante el sistema de colada y laminación o en hornos de reverbero.

- Redescubrimiento del cemento hidráulico, que estuvo relegado en el olvido durante 1300 años.

Se considera que en 1850 se inició la segunda Revolución Industrial, en la que se impulsó el progreso tecnológico y económico gracias al desarrollo de los barcos a vapor, los ferrocarriles y más tarde, en las postrimerías del siglo XIX, con el motor de combustión interna y la generación de energía eléctrica.

2.3.3 CARACTERISTICAS Y APLICACIONES

Quizá la principal característica de las piezas metálicas troqueladas es que, con unas cuantas excepciones, el espesor de la pared es esencialmente el mismo en toda la pieza. Las piezas troqueladas terminadas son, algunas veces, bastante complicadas en forma, con muchos salientes, brazos, agujeros de varias formas, huecos, cavidades y secciones levantadas como se muestra es la figura 23. En todos los casos, el espesor de la pared es esencialmente uniforme. No se realizan repujados gruesos del tipo que se encuentra en muchos vaciados

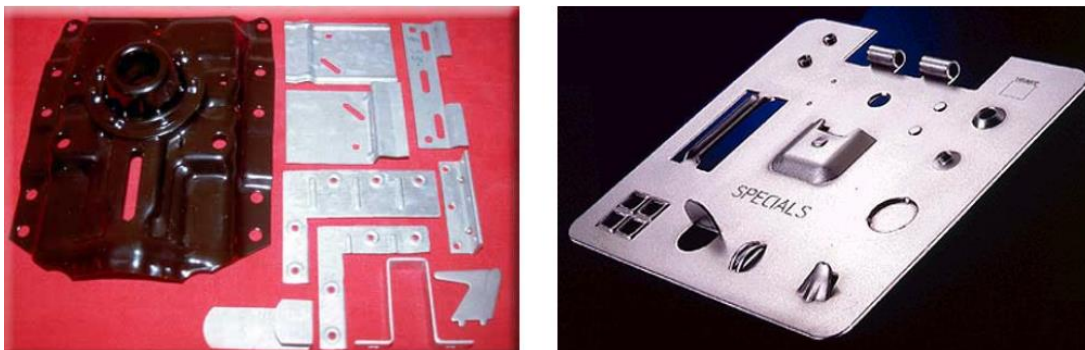


Figura 2.22. Colección de piezas troqueladas

Los troquelados se llevan a cabo en espesores que varían desde 0.025 mm hasta 9 mm de espesor. El tamaño de las piezas troqueladas va desde la más pequeña usada en los relojes de pulsera, hasta los, grandes tableros empleados en camiones o aviones.

El ingeniero de diseño debe tener presente el borde característico de una pieza troquelada, especialmente si incluye superficies de rozamiento o si, por apariencia u otras razones, se requieren bordes pulidos. El diseñador también debe estar consciente de las rebabas que quedan en un lado de las piezas troqueladas y ser cuidadoso al diseñarlas, con objeto de poder

eliminados con facilidad o que no interfieran con las subsecuentes operaciones o funcionamiento.

Proceso de troquelado convencional

Las piezas troqueladas pueden mecanizarse después del recortado o doblado si se requieren dimensiones más precisas de las que pueden producirse por troquelado, o cuando se requieren formas que no son factibles solamente por troquelado. Ejemplos de esto es el escariado de los taladros centrales de poleas o engranes troquelados, superficies rectificadas para darles planicidad y ranuras o áreas de alivio que requieren un cambio en el espesor de la pieza.

- *Cantidades económicas para producción*

El troquelado convencional es un proceso de alta producción. La producción es muy rápida, de 35 a 500 o más golpes por minuto. Si la producción total es suficiente para justificar el uso de troqueles compuestos o progresivos, tanto el recortado como el doblado pueden realizarse en un solo golpe de prensa. En estos casos, las piezas pueden producirse completas a una velocidad de miles por hora.

Un troquel progresivo para la producción de piezas similares a las ilustradas en la figura 23 requiere altos rangos de producción (250.000 piezas al año, por ejemplo) para justificar la inversión. Los troqueles convencionales para producir tales piezas podrían constar de un troquel recortador y perforador y de un troquel doblador que juntos, cuestan sólo la mitad de un troquel progresivo. Como regla general, un troquel progresivo no deberá considerarse, a menos que puedan eliminarse cuando menos dos operaciones secundarias.

El costo de los troqueles de doblado varía considerablemente, según su complejidad y tamaño. Un troquel simple convencional para formar un doblado puede ser muy barato, mientras que un troquel para doblado complejo o un troquel de embutido para una pieza grande puede requerir una inversión grande. Como resultado de estos significativos costos de herramental para el troquelado de metales, aun con bajos costos de mano de obra por unidad con operaciones múltiples, el troquelado convencional es un proceso para alta producción.

Las prensas troqueladoras son relativamente bajas en costo comparadas con otro equipo para alta producción. Sin embargo, el costo de la prensa no es un factor significativo en el cálculo del tamaño del lote económico,

debido a que las prensas son versátiles. Casi cualquier prensa tiene la posibilidad de realizar un amplio rango de operaciones de troquelado.

- *Troquelado de pequeños volúmenes*

En forma muy general, puede decirse que para condiciones promedio, la línea divisora entre producciones de poco volumen y las regulares (de volumen medio) está entre 5.000 y 10.000 piezas por partida o lote. Probablemente lo más importante es la cantidad total que se espera produzca el troquel durante su vida. Si esta cantidad es menor de 20.000, entonces los métodos para pequeños volúmenes probablemente darán los costos totales más bajos.

Otra regla para diferenciar el método de bajo volumen y el regular es la siguiente: cuando el costo de los troqueles excede el costo de las piezas por producir, se trata de un trabajo de bajo volumen.

Otra ventaja de los métodos para volúmenes pequeños es el poco tiempo requerido para la elaboración del equipamiento necesario. Sin embargo, la calidad de las piezas producidas con el equipo de tipo permanente es usualmente superior que la producida con troqueles temporales y, por tanto, la intercambiabilidad de las piezas producidas es mejor.

Proceso de troquelado fino

El proceso de troquelado fino es una técnica de prensado que utiliza una prensa especial y herramientas y troqueles de precisión para la producción de piezas que quedan casi terminadas y listas para usar cuando salen de la prensa de troquelado fino, a diferencia de las piezas que se troquelean por métodos convencionales. El troquelado fino produce piezas con superficies cortadas limpiamente a lo largo de todo el espesor del material. En comparación, las piezas troqueladas convencionalmente por lo general exhiben un borde cortado con limpieza sólo sobre un tercio del espesor del material y el resto presenta fracturas. Con el troquelado convencional, cuando estas superficies desempeñan alguna función, se puede requerir alguna forma de operación secundaria de acabado, como, rectificado, escariado, pulido, etc. A menudo se necesitan varias de estas operaciones para terminar la pieza.

Cuando se emplea el troquelado fino, aparte de la mejora de la calidad de las superficies cortadas, puede obtenerse una mayor precisión dimensional; además el proceso permite operaciones que normalmente no se realizan con troquelado convencional.

- Ciclo de la prensa

En la figura 23 se presenta la secuencia de operaciones durante un ciclo de la prensa para troquelado fino:

- (1) El troquel se carga con material.
- (2) El movimiento hacia arriba del carro levanta la platina inferior y el portatroquel. Esto levanta el material hasta la cara de la matriz.
- (3) Conforme cierra el troquel, el anillo V se encaja en el material. El material se sujeta entre el anillo V (o agujón) y la placa de la matriz, por fuera del perímetro de corte. El contrapuzón (el cual está bajo presión) sujeta el material contra la cara del punzón cortador por la parte interior del perímetro de corte.
- (4) Mientras la presión del anillo V y la contrapresión se mantienen constantes, el punzón continúa su carrera hacia arriba, cortando limpiamente la pieza. Ésta queda dentro de la matriz mientras que el recorte interior queda dentro del punzón. En la posición máxima superior, todas las presiones son eliminadas.
- (5) El carro se retrae y se abre el troquel.
- (6) Se vuelve a aplicar la presión del anillo V. Esto desprende del punzón la tira del material que había quedado insertada en él y empuja el recorte interior fuera del punzón. La alimentación con material comienza.
- (7) Se vuelve a aplicar la contrapresión expulsando la pieza que continuaba en la matriz.
- (8) La pieza y el recorte se saca del área del troquel por medio de un chorro de aire o con un brazo.
- (9) El ciclo se completa y queda listo para volver a empezar.

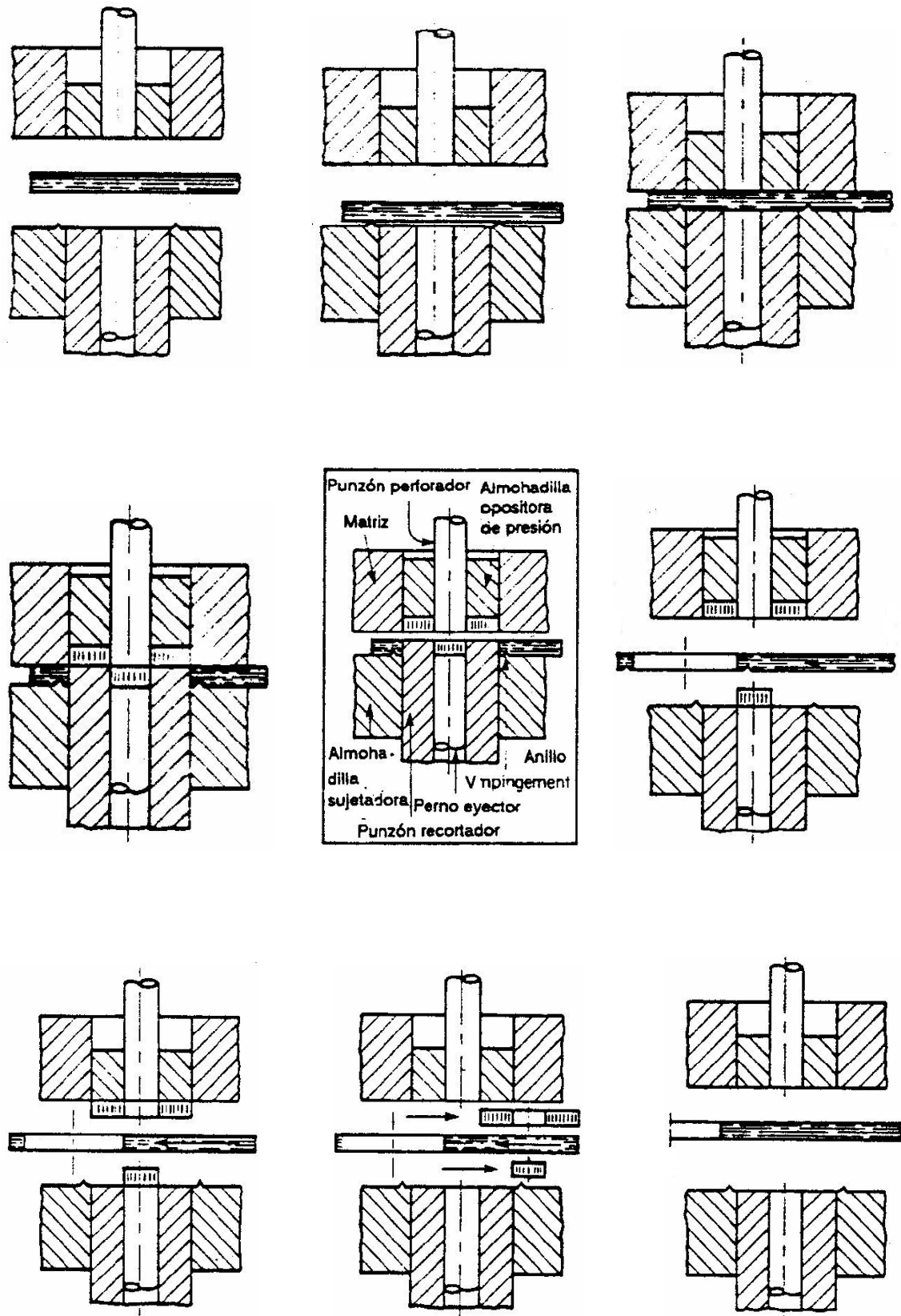


Figura 2.23. Ciclo de una prensa de troquelado fino

- Características típicas y sus aplicaciones

Las razones para considerar el troquelado fino incluyen la necesidad de acabados superficiales mejorados, forma de escuadra en los bordes cortados, mayor precisión dimensional y una apariencia y planicidad superiores, comparadas con las que se obtienen mediante el troquelado convencional. Se pueden incorporar piezas como pistas para levas, pernos localizadores, remaches y guías a la pieza hecha por troquelado fino. La producción de engranajes, segmentos de engranaje, trinquetes y cremalleras es uno de los principales campos de aplicación del troquelado fino.

Acabado superficial y escuadrado de los bordes

El acabado promedio de la superficie en piezas hechas por troquelado fino es de 0,45 μm . Es posible obtener un acabado de 0,1 a 0,2 μm con matrices de carburo para aplicaciones como levas especiales para las cuales se requiere una superficie pulida. Debido al desgaste de los troqueles y a los materiales usados, la cifra de 0,45 μm puede rebasarse después de producir cierto número de piezas.

La perpendicularidad de los bordes cortados rara vez es de 90 grados, pero no varía más de 40 a 50 minutos, aproximadamente. La calidad del material cortado y el estado del equipo son las condiciones que más influyen en estas características.

Cantidades económicas para producción

Generalmente el troquelado fino puede clasificarse como un proceso de producción de alto volumen, ya que la calidad y el costo del herramental requieren una razonable cantidad de piezas para justificar el gasto. Una comparación entre varios métodos de producción debe mostrar una verdadera justificación, debido a que los costos del equipo no son el único factor que debe tomarse en cuenta. En algunos casos, cantidades de 1.000 a 5.000 piezas pueden amortizar el costo del equipo. Esto sucede cuando se elimina una costosa operación secundaria (como el perfilado por control numérico, rectificado o un escariado difícil) al diseñar la fabricación de la pieza por medio de troquelado fino. Como guía general, puede decirse que las cantidades mínimas por considerar están entre 10.000 y 20.000 piezas.

Comparaciones producción tiempo

El ciclo de operación es ligeramente más lento en el troquelado fino que en el troquelado convencional. Una velocidad de prensa de 45 golpes por minuto podría ser un buen promedio en las operaciones de troquelado fino. [10]

2.3.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

- Ventajas
 - La fabricación es más rápida, lo que permite un ahorro de tiempo para el operario.
 - Las dimensiones siempre son precisas.
 - Los consumos son controlados.
 - Se evita el uso de elementos cortantes.
 - Mejora la estética del producto fabricado.

- Desventajas
 - Problema de alineación (de los agujeros en los extremos opuestos de una pieza doblada en U). Si verdaderamente se quiere alinear con precisión, se usan materiales con un estrecho control de espesor.
 - Cuando el material tiene una tolerancia pequeña de espesor, tiene un precio mayor.
 - Los troquelados se llevan a cabo en espesores que varían desde 0,025 mm hasta 9 mm de espesor.
 - Las piezas troqueladas convencionalmente exhiben un borde cortado con limpieza sólo sobre un tercio del espesor del material y el resto presenta fracturas.
 - Con el troquelado convencional, cuando estas superficies desempeñan alguna función, se puede requerir alguna forma de operación secundaria de acabado, como por ejemplo, rectificado, escariado, pulido, etc. A menudo se necesitan varias de estas operaciones para terminar la pieza.
 - Para el troquelado fino puede decirse que las cantidades mínimas están entre 10.000 y 20.000 piezas, ya que la calidad y el costo del equipo requieren una razonable cantidad de piezas para justificar el gasto.
 - El ciclo de operación es ligeramente más lento en el troquelado fino que en el troquelado convencional. [8]

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se detallan las características y procesos de fabricación de cada uno de los elementos del útil, lo que sería el trabajo propio en el taller de fabricación, también en el último apartado se esquematiza el proceso de montaje, incluyendo todas las consideraciones constructivas.

A tener en cuenta

El ajuste de un troquel es un trabajo complejo y que implica gran desarrollo, son herramientas únicas, compuestas, muchas veces, por más de 200 piezas y cuyo costo puede llegar a ser muy caro. Las empresas de fabricación en serie que quieran elegir el tipo de matriz más idónea para su producción, deberán hacer una serie de consideraciones y análisis previos, con la finalidad de seguir un orden de prioridades que confluyan en un diseño adecuado y una construcción precisa de la matriz.

Los troqueles deben tener una alta resistencia a la compresión y al desgaste, de modo que se deben utilizar aceros aleados con tratamiento de temple para fabricarlos. Sin embargo, la eficiencia de las herramientas de troquelar depende no solamente del material, sino también de la calidad superficial de éstas, las matrices nuevas tienen una duración notablemente mayor que aquellas remanufacturadas, que han sido pulidas y alisadas de nuevo después de haberse hecho rugosa su superficie. La calidad superficial de la pieza troquelada depende, en gran medida, del estado superficial de la herramienta, por lo tanto, las caras frontales del punzón y la matriz deben estar muy bien mecanizadas y sin rugosidades, de ser posible rectificadas y abrillantadas, ya que incluso la menor desigualdad se reproducirá en la forma de la pieza troquelada. Además, las rayas, aunque el proceso de troquelado se realice correctamente, ocasionan un agotamiento prematuro de la capacidad de conformación de la herramienta, debido a que van formando pequeñas grietas superficiales en la matriz que, con el paso del trabajo, la hacen inutilizable.

De otro lado, la base principal para la duración de los troqueles es su adecuado uso y buen mantenimiento. El secreto para eliminar o reducir los posibles problemas a lo largo de la vida útil de las matrices, es tenerlos controlados e identificados. Generalmente los fabricantes de troqueles garantizan las herramientas para la producción de un número de unidades determinado, no obstante, si el usuario respeta los parámetros del proceso y

hace un riguroso mantenimiento con periodicidad, las matrices superan millones de veces las unidades garantizadas. Los ‘ajustadores’ entregan los planos de cada parte del troquel, piezas que, en caso de desgaste, deben ser reemplazadas por un técnico autorizado, así mismo, cada matriz cuenta con especificaciones para lubricación y zonas y tiempos de mantenimiento.

Un tema de vital importancia y sumo cuidado es utilizar el troquel para el calibre de lámina que fue diseñado y nunca abusar en ese sentido, utilizándolos para diferentes espesores, pues esto es causa del desgaste prematuro, e incluso la ruptura de la herramienta. A su vez, los troqueles de corte deben ser rectificadas periódicamente, para lo cual es necesario conocer las tolerancias para el afilado, recomendadas por los fabricantes, pues no afilar la herramienta en las décimas o el periodo indicado es una de las causas principales de la disminución de su vida útil.

3.1.1 DEFINICIÓN DE UTILLAJE

Se entiende por utillaje o troquel al conjunto de útiles, herramientas, maquinaria, implementos e instrumental que en asociación con la maquinaria adecuada sea capaz de obtener una pieza concreta, existen muchos tipos y campos de aplicación pero en este caso el proyecto se centra en el de utillaje progresivo para producción con prensas. Este tipo de herramienta se caracteriza por una gran robustez y fiabilidad, siendo muy eficaz para grandes producciones, además asociado a una prensa hidráulica se consigue una gran velocidad de trabajo y un amplio abanico de fuerzas. El correcto funcionamiento del utillaje está ampliamente relacionado con el diseño de sus elementos.

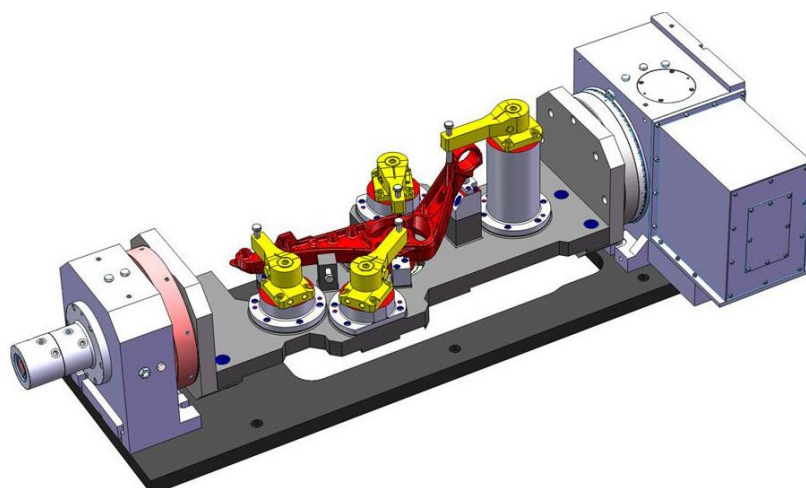


Figura 3.1. Ejemplo de utillaje

Todos los elementos constructivos que se pueden observar en la figura anterior cumplen una misión concreta y específica dentro del conjunto general destinado únicamente a realizar el trabajo para el que ha sido diseñado.

Las materiales empleados para estos elementos, así como los tratamientos térmicos, construcción y acabados son aspectos muy importantes a tener en cuenta que deben tratarse con atención si de verdad se desea obtener los mejores resultados a lo largo de la vida del útil. También hay que dedicar una atención especial a los distintos elementos normalizados que con más frecuencia se utilizan en la construcción de los utillajes.

En el siguiente apartado se tratarán aquellos componentes que de una u otra forma están presentes en casi todos los utillajes. Asimismo, también se analizan los distintos tipos de materiales de las que están compuestos las diferentes piezas y los tratamientos térmicos más apropiados para cada una de ellas.

En cuanto a otros aspectos técnicos más concretos a cada utillaje en particular, como son las tolerancias de ajuste y acabado que deben tener se definirán más adelante en el capítulo de definición del proceso de fabricación.

Todo este conjunto de factores de diseño, aplicado de forma adecuada permitirá construir utillajes de calidad que proporcionen un rendimiento adecuado y acorde a las especificaciones que demanda el cliente. Así pues, los objetivos prioritarios de todos los componentes del utillaje o troquel son los siguientes:

- Hacer que su funcionamiento sea correcto.
- Que la durabilidad sea adecuada.
- Que las piezas fabricadas sean de calidad.

Para que se cumplan hay que tener en cuenta:

- Buen diseño de los componentes.
- Buena construcción.
- Buenos materiales de construcción.
- Correctos tratamientos térmicos.
- Buen mantenimiento.

Cabe destacar que los tratamientos térmicos de diferentes piezas señaladas para intervenir en una misión de choque o de desgaste dentro del

utillaje o troquel tienen que ser el correcto, de ahí la importancia de los tratamientos térmicos correctos.

A continuación se especifican las características más importantes de los componentes de un utillaje y los diferentes parámetros característicos para su diseño. [7]

3.2.1 COMPONENTES, MATERIALES Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS

De igual forma, cada vez que crece su complejidad y desarrollo, los troqueles cuentan con una serie de elementos constructivos que cumplen con una misión específica dentro del conjunto general del trabajo para el cual han sido fabricados. Estos componentes, por sus características mecánicas deben estar cuidadosamente diseñados para lograr el objetivo de producir piezas sin ningún defecto.

Obviando los troqueles simples, los cuales esencialmente también tienen algunos de los siguientes componentes, a continuación se describe las partes que de una u otra forma están presentes en casi todas las matrices progresivas, independientemente de su tamaño. Así mismo, se mencionan los distintos tipos de materiales con que se construyen.

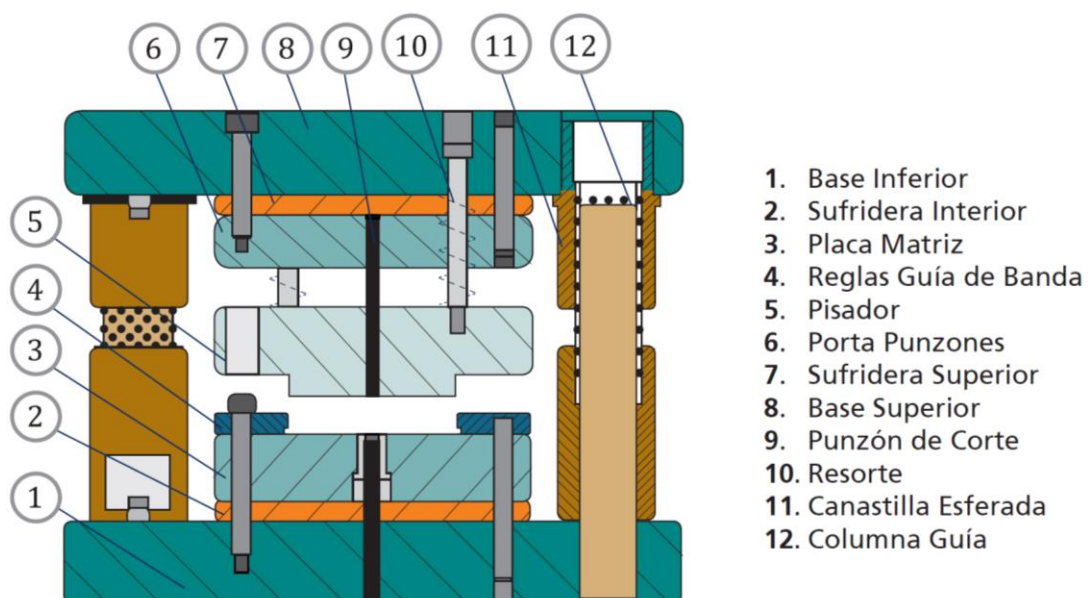


Figura 3.2. Partes básicas de un troquel

BASE SUPERIOR O PLACA SUPERIOR (PARTE MÓVIL)

Tiene la misión de contener en su superficie todas las placas y elementos que sostienen los punzones del troquel, está anclada al martillo o ariete de la prensa, que la inmoviliza y fija durante todo el proceso de trabajo. Ésta conduce el movimiento de la máquina para que los punzones penetren la matriz y transformen la lámina. Algunos de los elementos que aloja la base superior son: placa porta punzones, punzones de cortar, doblar, embutir, estampar, etc..., sufridera, bujes guías, placa pisadora, resortes, entre otros.

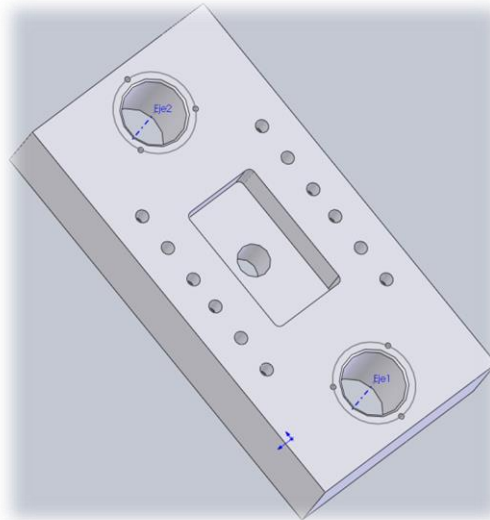


Figura 3.3. Placa superior

Material

Para la fabricación, tanto de la base superior como la inferior, se usan placas de hierro de fundición o hierro maleable del tipo A.-36, o también placas de acero al carbono de mediana resistencia como el SAE/AISI: 1045, o sus equivalencias en las diferentes marcas.

En este caso se va a usar un material F-112, considerado un acero dulce, fácil de mecanizar.

Tratamiento térmico

Materiales son tratados térmicamente por temple convencional y tienen una dureza superficial de 55-58 Rockwell C (HRc).

En este caso, la placa superior no lleva ningún tipo de tratamiento térmico porque se considera que no es necesario dadas las características del acero y su función a ejercer dentro del troquel.

BASE INFERIOR O PLACA INFERIOR (PARTE FIJA)

Es el elemento sobre el cual van montados todos los componentes que hacen parte de la matriz, y a su vez, está sujeta fuertemente en la bancada de la prensa durante la fase de trabajo. Esta base y los elementos que lleva montados hacen las funciones de apoyo, puesto que ‘recibirán’ toda la fuerza de transformación que la prensa aplique sobre ella. En la base inferior también se pueden montar las columnas guía que sirven como referencia de centraje entre la parte superior e inferior. Algunos de los elementos que aloja la base inferior son: placa porta matrices o segmentos de cortar, doblar o embutir, reglas guías, sufridera inferior, topes de avances, columnas guía, pernos, etc.

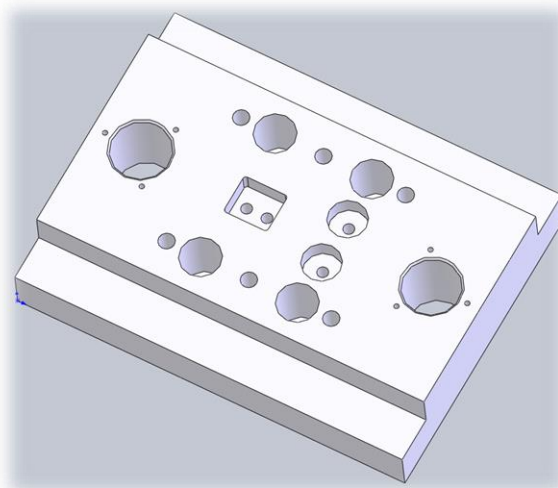


Figura 3.4. Placa inferior

Material

Para la fabricación, tanto de la base superior como la inferior, se usan placas de hierro de fundición o hierro maleable del tipo A.-36, o también placas de acero al carbono de mediana resistencia como el SAE/AISI: 1045, o sus equivalencias en las diferentes marcas.

En este caso se va a usar un material F-112, considerado un acero dulce, fácil de mecanizar.

Tratamiento térmico

Materiales son tratados térmicamente por temple convencional y tienen una dureza superficial de 55-58 Rockwell C (HRc).

En este caso, la placa superior no lleva ningún tipo de tratamiento térmico porque se considera que no es necesario.

SUFRIDERAS

La función básica de las sufrideras consiste en absorber sobre su superficie los sucesivos golpes de los elementos en el troquel. Estos impactos se producen cada vez que los punzones transforman la lámina con la matriz. Cuando el punzón impacta contra el material, la resistencia que opone éste es transmitida a la superficie de las sufrideras sobre las que se apoyan las placas porta matriz y porta punzones.

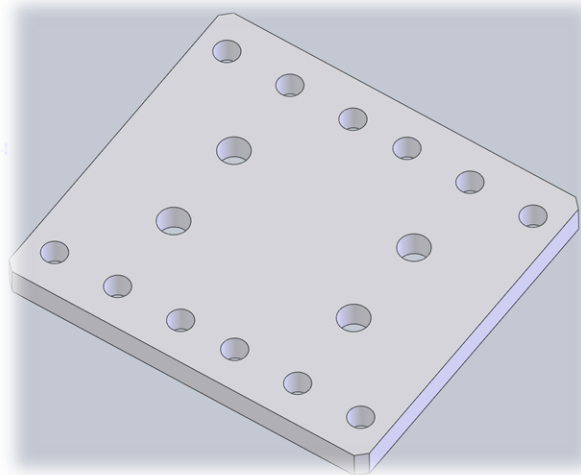


Figura 3.5. Placa inferior

Material

Para la construcción de las placas de choque se emplean materiales que admitan el temple y que conserven asimismo tenacidad y cohesión en el núcleo. Un material adecuado y muy empleado es el acero al carbono del tipo F522 y el F114 debidamente templados a una dureza de HRc. 56 (además se suele hacer un templado de baja dureza antes del mecanizado para evitar deformaciones). Algunos matriceros optan por la elección de un acero indeformable de $100-120 [Kgf /mm^2]$ para evitar el tratamiento térmico y el rectificado posterior de la placa.

El material usado para las sufrideras en este caso va a ser un acero 2842, que equivale al más conocido F- 522.

Tratamiento térmico

En este caso no lleva tratamiento térmico puesto que es un acero lo bastante duro.

REGLAS GUÍAS O POSICIONADORES PIEZA

Las reglas guías de banda o posicionador de pieza son uno de los componentes más característicos de las matrices progresivas. Se disponen con el fin de guiar longitudinal y transversalmente las tiras de lámina en su desplazamiento por el interior de la matriz.

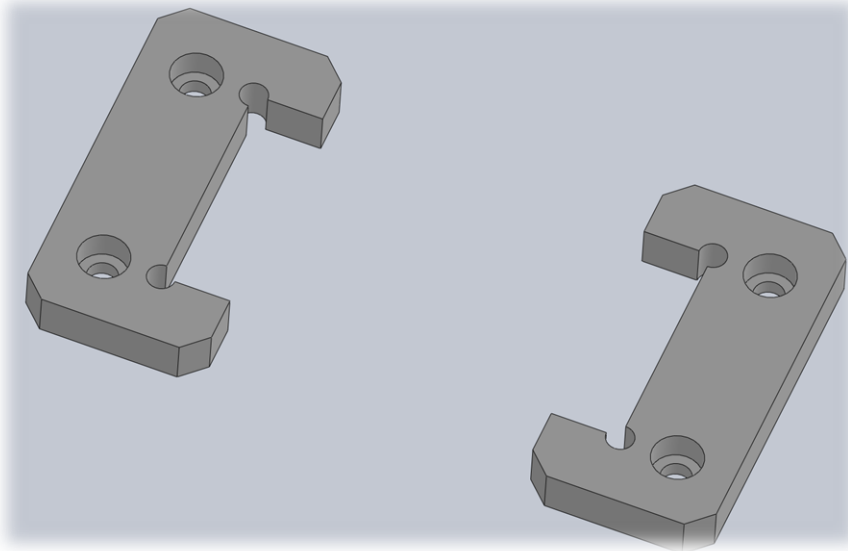


Figura 3.6. Posicionadores de la pieza

Material

Los posicionadores suelen fabricarse con un material para herramientas puesto que es una pieza con la función de guiar o posicionar la pieza, lo cual, estar expuesta a contacto directo con lo que supone que su desgaste va a ser considerado.

En este caso se va a fabricar en un acero F – 522.

Tratamiento térmico

El tratamiento térmico más utilizado para ellas es el templeado y revenido o nitrurado, que impide un desgaste prematuro de sus paredes que pueda dificultar el buen deslizamiento de la banda por su interior.

En este caso se va a proceder a realizar lo dicho anteriormente, un templeado y revenido.

PLACA PORTA PUNZONES

La finalidad de la placa porta punzones es la de alojar y fijar en su interior todos los punzones que lleve la matriz. La fijación y posicionamiento del porta-punzones a la base superior se hace por medio de tornillos y pasadores, teniendo especial cuidado en guardar un total paralelismo y perpendicularidad entre los punzones y sus respectivos alojamientos en la placa guía.

La cantidad y diámetro de los tornillos con que se sujeta la placa depende de las dimensiones de la misma y de las fuerzas de extracción a que este sometida durante el conformado. Se puede decir, que el buen sentido común y la experiencia del proyectista es el que determinará la cantidad de tornillos y pasadores a colocar. En el amarre de esta placa es muy utilizada la fijación superior, es decir, cuando los tornillos van de arriba hacia abajo, roscados a la propia placa porta punzones, de esta manera cuando se desee desmontar la placa se tendrá mayor facilidad de maniobra. Para matrices de gran tamaño, no es aconsejable utilizar un solo porta punzones de grandes dimensiones sino varios de menor tamaño que facilitarán su construcción y mantenimiento.

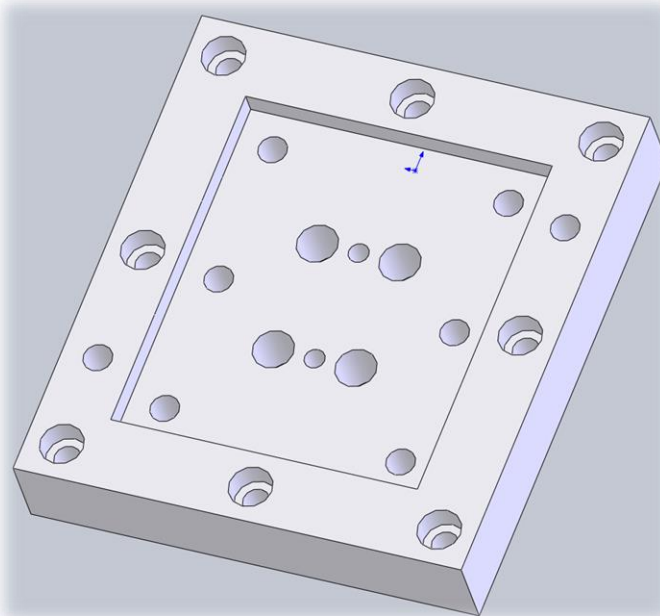


Figura 3.7. Placa porta punzones

Material

El porta machos es una parte del utillaje sometida a muy pocas solicitaciones, solo en los casos en los que es utilizado para portar machos múltiples requiere mayor resistencia a fuerzas laterales, en nuestro caso el macho será la que absorba la mayor parte del impacto pero siempre es

importante dotarla de rigidez extra por medio del porta machos. En función del tipo, se suele utilizar para su construcción los siguientes materiales:

- F-112 Para placas de gran tamaño
- F-144 Para placas de tamaño mediano
- F-522 Para placas de tamaño pequeño

En este caso se considera la placa base de tamaño medio, por lo tanto y haciendo caso a lo dicho anteriormente, se va a considerar fabricar dicha pieza en acero F-144.

Tratamiento térmico

No se va a proceder a realizar ningún tratamiento puesto que no es necesario y con las características del material puede realizar su función correctamente.

PLACA PISADORA

Durante el movimiento descendente del troquel, la placa pisadora presiona la lámina dejándola inmobilizada antes de que los punzones lleguen a tocarla y mientras penetran el material y lo transforman. Una vez cortada la lámina, la función de la placa es mantener la pieza bien sujeta hasta que los punzones hayan salido de ella, de lo contrario, los punzones la arrastrarían hacia arriba sujeta a ellos, con el riesgo de rotura.

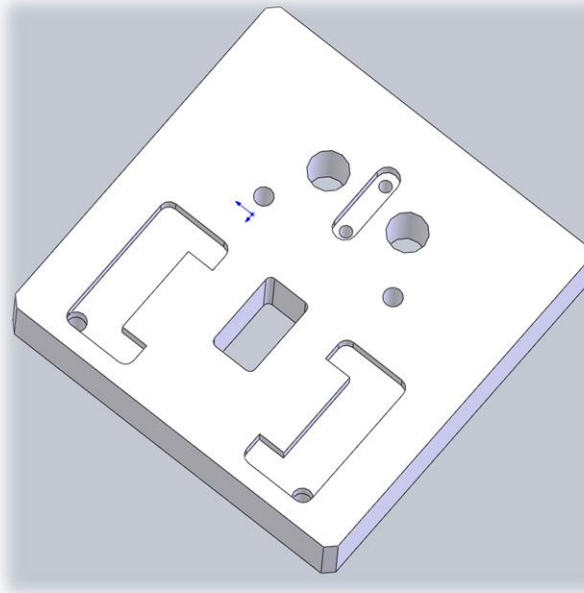


Figura 3.8. Placa pisadora

Material

Para la fabricación de la placa pisadora, se usan placas de hierro de fundición o hierro maleable del tipo A.-36, o también placas de acero al carbono de mediana resistencia como el SAE/AISI: 1045, o sus equivalencias en las diferentes marcas.

Para esta placa concretamente, se va a usar un F-114, puesto que no tiene una función expuesta a grandes desgastes.

Tratamiento térmico

No se ejerce ningún tratamiento térmico en la pieza puesto que no es necesario para la función que realiza.

PUNZÓN

Los punzones, también conocidos como ‘*machos*’, tienen por objeto realizar las máximas transformaciones en la lámina (cortar, doblar, embutir, acuñar, extrusionar, etc...), a fin de obtener piezas con una calidad acorde a las medidas requeridas, hay tantos tipos de éstos como variantes del troquelado. Se habla de ‘*punzones*’ y no de punzón, porque en general la mayoría de troqueles llevan montados en su interior un gran número de ellos que pueden ser iguales o totalmente diferentes, según la función que desempeñen.

En la matricería o troquelería, se cuida con especial atención la fabricación de los punzones, que deben estar perfectamente diseñados y mecanizados, muy bien sujetos, acorde a las dimensiones requeridas, con excelentes acabados y un adecuado tratamiento térmico de endurecido.

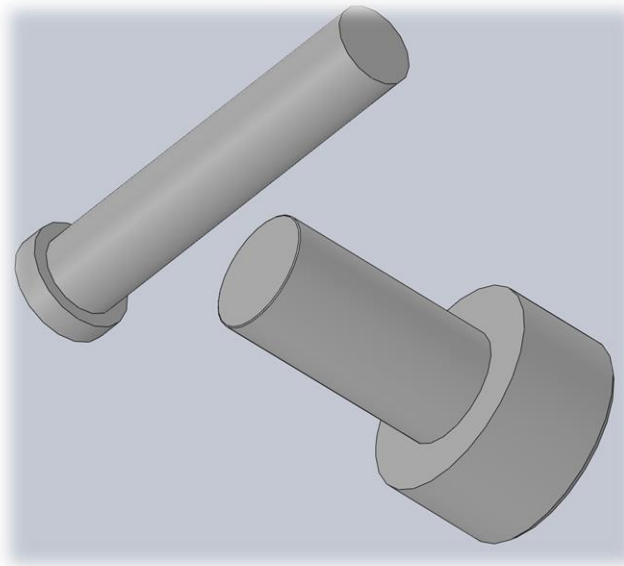


Figura 3.9. Punzones

Material

La elección de los aceros para su fabricación se hace según su función, para los punzones de corte se emplean materiales de alta resistencia al desgaste y con muy buena conservación del filo, por ejemplo el SAE/AISI: D6 o D3, que pueden alcanzar una dureza de 62-64 HRc, por su parte, según recomienda el Centro Tecnológico Ascamm de España, para doblado se debe usar aceros con contenido de níquel, materiales que tiene una alta resistencia al impacto, alta penetración y una dureza superior a 65 HRc.

En este caso van a ser fabricados en un acero 2379, que equivale al más conocido acero para herramientas F-521.

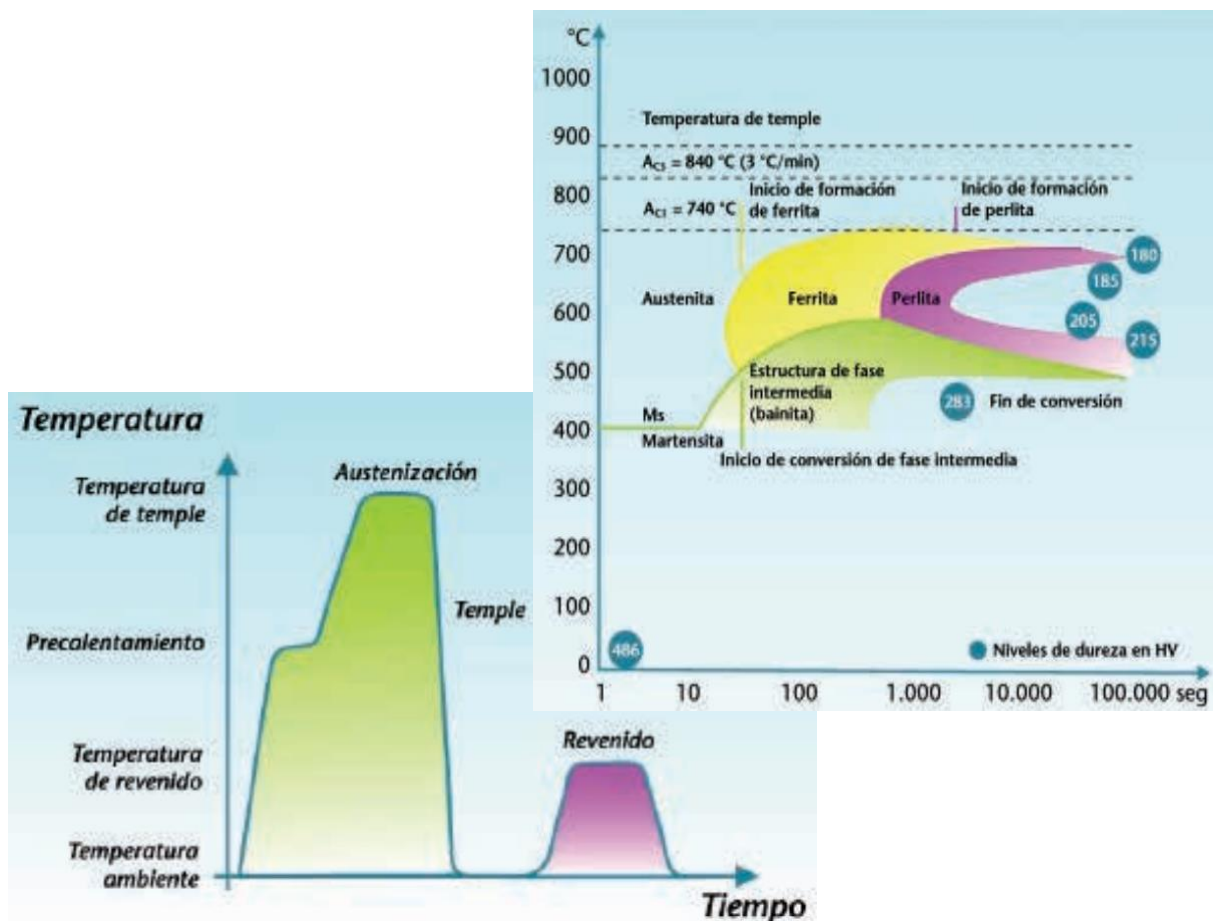
Tratamiento térmico

A pesar de la dureza del material sin tratamiento previo, se realiza un templado y revenido ya que son las piezas que más expuestas están al desgaste.

El tratamiento de temple consiste en enfriar de manera controlada a la mayoría de las variantes de aceros aleados previamente calentados a temperaturas de entre 750°C y 1300°C.

Dependiendo del material base, la temperatura y el tiempo de calentamiento, y severidad del enfriamiento se puede conseguir una amplia gama de durezas.

Posterior al temple se realiza un tratamiento de revenido de tipo 1 a temperaturas de entre 200°C y 300°C con la finalidad de optimizar la tenacidad y reducir la fragilidad de las piezas.



El diagrama TTT continuo muestra la progresión del temple. La dureza depende de la temperatura y el tiempo de enfriamiento. Incluso los cambios más leves en el eje de tiempo (grado de enfriamiento) causan una diferencia importante en los niveles de dureza que se puede alcanzar.

El temple se consigue en dos pasos:

1. Calentamiento controlado en temperatura (750°C – 1300°C), rampa de calentamiento y tiempo de mantenimiento a temperatura máxima. Ajustando estos tres puntos de control podemos conseguir las condiciones idóneas previo al temple disolviendo los elementos aleantes de manera correcta y obteniendo una estructura austenítica deseada. De esta manera aseguramos unos resultados finales óptimos, uniformes y repetibles.
2. Enfriamiento controlado de la zona a templar. Es muy importante controlar el medio de temple (agua, aceite, aire...), caudal, presión y la tipología de sistema de ducha utilizado. Con un correcto ajuste del temple se consigue la transición estructural de austenita martensita, mejorando notablemente la dureza de la zona templada. Existe un tercer paso necesario asociado al temple en aceros con alto grado de fragilidad. Dureza y fragilidad son características directamente proporcionales por lo que hay que hacer un tratamiento posterior para equilibrar ambas. Este tratamiento se conoce como recocido de eliminación de tensiones (revenido) y consiste en mantener las piezas a temperaturas $\leq 650^{\circ}\text{C}$ durante un tiempo determinado. Gracias a este revenido se consigue reducir la fragilidad y ajustar la pieza a diferentes requisitos mecánicos dependiendo del tiempo de mantenimiento a temperatura.

MATRIZ DE DOBLE

La matriz de doble tiene por objeto realizar la forma deseada por doblado, en este caso es la media caña que va a realizar en la pieza.

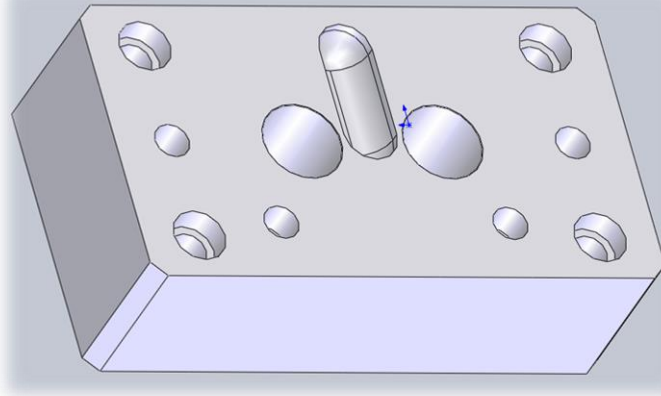


Figura 3.10. Matriz de doble

Material

Para este caso, se va a tener en cuenta su función. Para las matrices de doble se emplean materiales de alta resistencia al desgaste, por ejemplo el SAE/AISI: D6 o D3, que pueden alcanzar una dureza de 62-64 HRC, por su parte, según recomienda el Centro Tecnológico Ascamm de España, para doblado se debe usar aceros con contenido de níquel, materiales que tiene una alta resistencia al impacto, alta penetración y una dureza superior a 65 HRC.

En este caso van a ser fabricados del mismo material con el que se van a fabricar los punzones, en un acero 2379, que equivale al más conocido acero para herramientas F-521.

Tratamiento térmico

En este caso, y como los punzones, se realiza un templado y revenido ya que la media caña o “hembra”, va a tener mucho desgaste, con lo cual dicho tratamiento sirve para minimizarlo todo lo posible.

MACHO DOBLADOR

En este caso, el macho doblador se puede considerar como un punzón o “macho”, puesto que hace la misma labor lo único que en este caso su función trata de doblar la media caña de la pieza que se desea obtener.

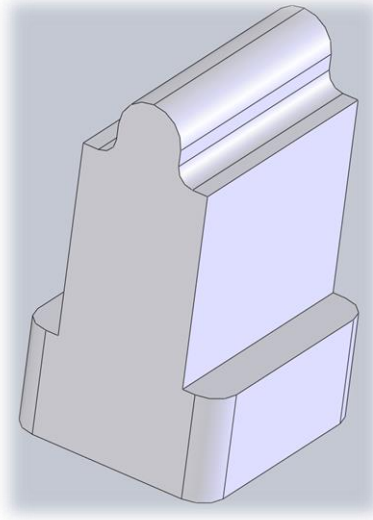


Figura 3.11. Macho doblador

Material

La elección de los aceros para su fabricación se hace según su función, para los machos de doble se emplean materiales de alta resistencia al desgaste, por ejemplo el SAE/AISI: D6 o D3, que pueden alcanzar una dureza de 62-64 HRc, por su parte, según recomienda el Centro Tecnológico Ascamm de España, para doblado se debe usar aceros con contenido de níquel, materiales que tiene una alta resistencia al impacto, alta penetración y una dureza superior a 65 HRc.

En este caso van a ser fabricados en un acero 2379, que equivale al más conocido acero para herramientas F-521.

Tratamiento térmico

A pesar de la dureza del material sin tratamiento previo, se realiza un templado y revenido ya que son piezas que por su función, se encuentran más expuestas al desgaste.

MACHO DE CORTE

En este caso, el macho de corte se puede considerar como un punzón o “macho”, puesto que hace la misma labor lo único que en este caso su función trata de cortar la pieza con la forma deseada.

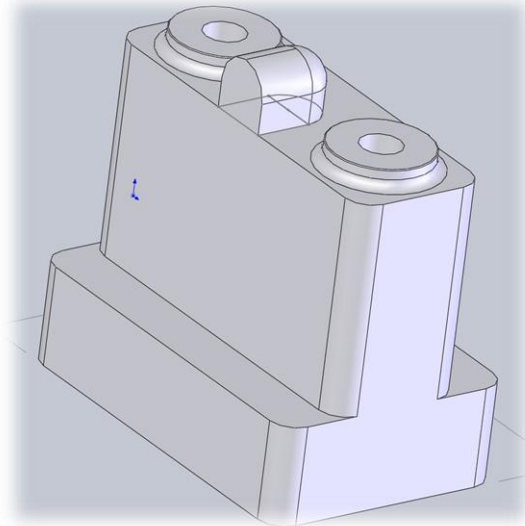


Figura 3.12. Macho de corte

Material

La elección de los aceros para su fabricación se hace según su función, para los machos de doble se emplean materiales de alta resistencia al desgaste, por ejemplo el SAE/AISI: D6 o D3, que pueden alcanzar una dureza de 62-64 HRc, por su parte, según recomienda el Centro Tecnológico Ascamm de España, para doblado se debe usar aceros con contenido de níquel, materiales que tiene una alta resistencia al impacto, alta penetración y una dureza superior a 65 HRc.

En este caso van a ser fabricados en un acero 2379, que equivale al más conocido acero para herramientas F-521.

Tratamiento térmico

Como ya se sabe, a pesar de la dureza del material sin tratamiento previo, se realiza un templado y revenido ya que son piezas que por su función, se encuentran más expuestas al desgaste.

MATRIZ DE CORTE

La matriz de corte tiene por misión alojar y posicionar en su interior todos los elementos de pequeñas dimensiones que lleve la propia matriz, de esta manera dichos componentes quedarán ajustados en su interior.

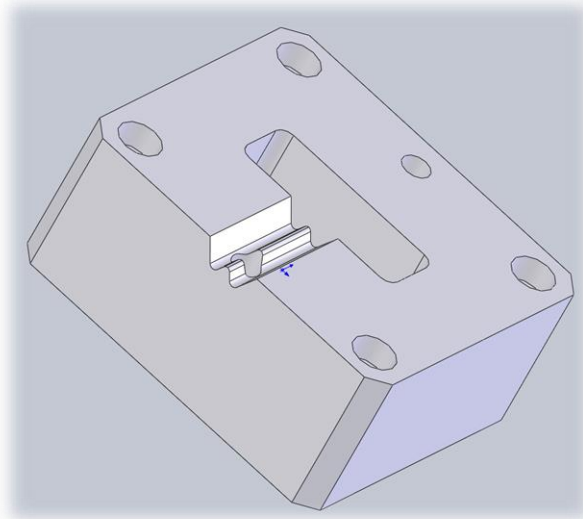


Figura 3.13. Matriz de corte

Material

El acero se elige según el número de piezas a fabricar, puede ser hierro A-36 o SAE/AISI: 1045, para grandes producciones se prefieren materiales con mayor dureza, templabilidad y resistencia al desgaste como el SAE/AISI: D2, que después de templado puede alcanzar una dureza de 62-64 HRc.

La matriz de corte, va a ser fabricados en un acero 2379, que equivale al ya conocido acero para herramientas F-521.

Tratamiento térmico

A pesar de la dureza del material sin tratamiento previo, se realiza un templado y revenido ya que son piezas que por su función, se encuentran más expuestas al desgaste.

PUNZÓN EXPULSOR

La función del punzón expulsor, como bien define su nombre, sirve para extraer la pieza cuando ya está troquelada. Sirve para ayudar a que no se quede la pieza enganchada a la matriz de corte.

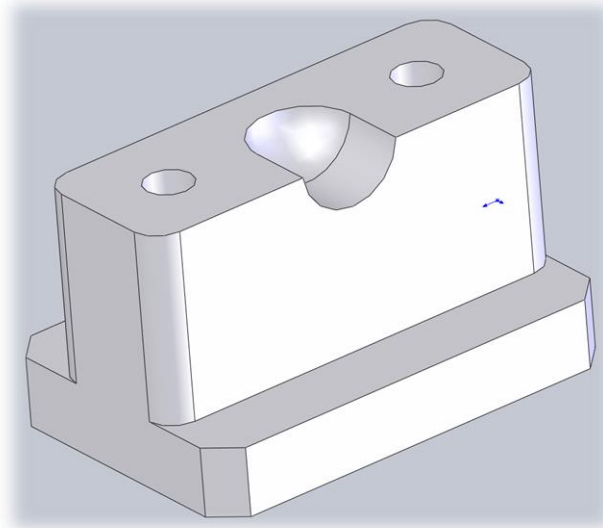


Figura 3.14. Punzón expulsor

Material

La elección de los aceros para su fabricación se hace según su función, para los machos de doble se emplean materiales de alta resistencia al desgaste, por ejemplo el SAE/AISI: D6 o D3, que pueden alcanzar una dureza de 62-64 HRc, por su parte, según recomienda el Centro Tecnológico Ascamm de España, para doblado se debe usar aceros con contenido de níquel, materiales que tiene una alta resistencia al impacto, alta penetración y una dureza superior a 65 HRc.

En este caso van a ser fabricados en un acero 2842, que equivale al más conocido acero para herramientas F-522.

Tratamiento térmico

A pesar de la dureza del material sin tratamiento previo, se realiza un templado y revenido ya que son piezas que por su función, se encuentran más expuestas al desgaste puesto que está continuamente en contacto con la pieza.

COLUMNAS GUÍA

El movimiento de las dos partes más importantes del troquel (bases superior e inferior) necesita ser guiado en todo momento para garantizar una total concentricidad entre ambas. Esta función se deja a cargo de cuatro columnas de guiado que van montadas generalmente en la base inferior y sus respectivos bujes, sistema que se encargan de posicionar y centrar las dos partes del troquel. El sistema de guiado por columna puede ser de dos tipos: el más habitual es por rozamiento, el cual debe ser muy bien lubricado para no forzarlo, el segundo es de rodamientos o canastilla esferada, en el que las columnas están acompañadas por una guía lineal de bolas (cilindros con esferas en su superficie), lo que facilita el desplazamiento, con excelentes ventajas, pues, el movimiento del sistema es muy ligero, los desgastes por rozamientos son bajos y necesita poca lubricación y mantenimiento.

VARIOS

Para la construcción y funcionamiento de los troqueles se requiere de una gran variedad de componentes complementarios. Todos ellos forman el complejo sistema del troquelado. A continuación se expone un cuadro con la denominación de las diferentes piezas:

Denominación	Material	Norma	Observaciones
Pasador cilíndrico	Comercial	ISO 8735 - 10 x 40 - A	
Pasador cilíndrico	Comercial	ISO 8735 - 10 x 100 - A	
Pasador cilíndrico	Comercial	ISO 8735 - 12 x 100 - A	
Tornillo tope	Comercial		M - 12 x 60
Cilindro de gas	Comercial	AZOL - GAS	CT - 550 - 25
Cilindro de gas	Comercial	AZOL - GAS	CT - 750 - 25
Casquillo guía	Comercial	NORMAFLEX	5310 Ø 40 x 130
Columna guía	Comercial	NORMAFLEX	5230 Ø 40 x 240
Columna guía	Comercial	NORMAFLEX	5230 Ø 40 x 280
Brida estampada	Comercial	NORMAFLEX	5300
Brida de fijación	Comercial	NORMAFLEX	5300
Punzón	Comercial	DIN 986 D Ø 8,5 x 80	
Tornillo Allen	8 - 8	DIN 912 - M6 x 12	
Tornillo Allen	8 - 8	DIN 912 - M6 x 30	
Tornillo Allen	8 - 8	DIN 912 - M10 x 45	
Tornillo Allen	8 - 8	DIN 912 - M10 x 70	
Tornillo Allen	8 - 8	DIN 912 - M12 x 55	
Tornillo Allen	8 - 8	DIN 912 - M12 x 70	

Figura 3.15. Tabla con las diferentes piezas

4. RESULTADOS ESTUDIO F.E.M.

4.1 INTRODUCCIÓN AL FEM

El método de los elementos finitos (MEF) ha adquirido una gran importancia en la solución de problemas ingenieriles, físicos, etc., ya que permite resolver casos que hasta hace poco tiempo eran prácticamente imposibles de resolver por métodos matemáticos tradicionales.

Esta circunstancia obligaba a realizar prototipos, ensayarlos e ir realizando mejoras de forma iterativa, lo que traía consigo un elevado coste tanto económico como en tiempo de desarrollo.

El MEF permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, más fácil y económico de modificar que un prototipo. Sin embargo no deja de ser un método aproximado de cálculo debido a las hipótesis básicas del método. Los prototipos, por lo tanto, siguen siendo necesarios, pero en menor número, ya que el primero puede cercarse bastante más al diseño óptimo.

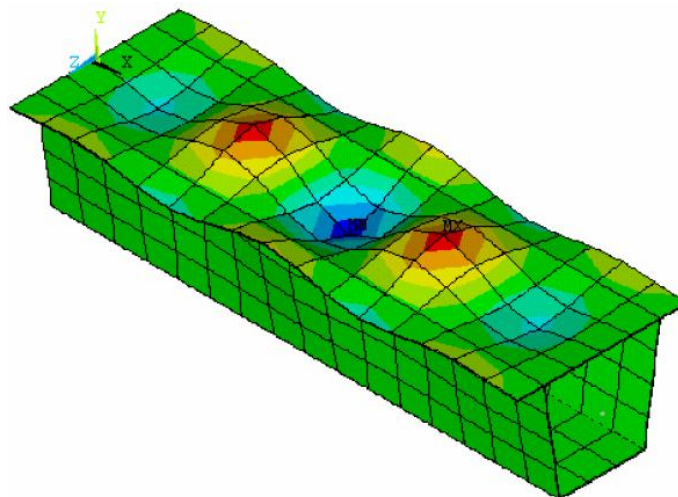


Figura 4.1. Ejemplo de discretización con Elementos Finitos

El método de los elementos finitos como formulación matemática es relativamente nuevo, aunque su estructura básica es conocida desde hace bastante tiempo, en los últimos años ha sufrido un gran desarrollo debido a los avances informáticos. Han sido precisamente estos avances informáticos los que han puesto a disposición de los usuarios gran cantidad de programas que permiten realizar cálculos con elementos finitos. Pero no hay que llevarse a engaño, el manejo correcto de este tipo de programas exige un profundo conocimiento no sólo del material con el que se trabaja, sino también de los principios del MEF. Sólo en este caso estaremos en condiciones de garantizar que los resultados obtenidos en los análisis se ajustan a la realidad.

Desde el punto de vista de la programación algorítmica modular las tareas necesarias para llevar a cabo un cálculo mediante un programa MEF se dividen en:

Preproceso

Consiste en la definición de geometría, generación de la malla, las condiciones de contorno y asignación de propiedades a los materiales y otras propiedades. En ocasiones existen operaciones de regularización de la malla y acondicionamiento para garantizar una mejor aproximación o una mejor convergencia del cálculo.

Cálculo

El resultado del preproceso, en un problema simple no dependiente del tiempo, permite generar un conjunto de N ecuaciones y N incógnitas, que puede ser resuelto con cualquier algoritmo para la resolución de sistemas de ecuaciones lineales. Cuando el problema a tratar es un problema no-lineal o un problema dependiente del tiempo a veces el cálculo consiste en una sucesión finita de sistemas de N ecuaciones y N incógnitas que deben resolverse uno a continuación de otro, y cuya entrada depende del resultado del paso anterior.

Postproceso

El cálculo proporciona valores de cierto conjunto de funciones en los nodos de la malla que define la discretización, en el postproceso se calculan magnitudes derivadas de los valores obtenidos para los puntos de integración, y en ocasiones se aplican operaciones de suavizado, interpolación e incluso determinación de errores de aproximación.

Preproceso y generación de la malla

La malla se genera y ésta en general consta de miles de puntos. La información sobre las propiedades del material y otras características del problema se almacena junto con la información que describe la malla. Por otro lado, las fuerzas, los flujos térmicos o las temperaturas se reasignan a los puntos de la malla. A los nodos de la malla se les asigna una densidad por todo el material dependiendo del nivel de la tensión mecánica u otra propiedad. Las regiones que recibirán gran cantidad de tensión tienen normalmente una mayor densidad de nodos que aquellos que experimentan poco. Estas zonas suelen ser puntos de fractura previamente probados del material, entrantes, esquinas, detalles complejos, y áreas de elevada tensión. La malla actúa como la red de una araña en la que desde cada nodo se extiende un elemento de malla a cada nodo adyacente. Este tipo de red vectorial es la que lleva las propiedades del material al objeto, creando varios elementos.

Las tareas asignadas al preproceso son:

1. El continuo se divide, mediante líneas o superficies imaginarias en un número de elementos finitos. Esta parte del proceso se desarrolla habitualmente mediante algoritmos incorporados a programas informáticos de mallado durante la etapa de preproceso.
2. Se supone que los elementos están conectados entre sí mediante un número discreto de puntos o “nodos”, situados en sus contornos. Los desplazamientos de estos nodos serán las incógnitas fundamentales del problema, tal y como ocurre en el análisis simple de estructuras por el método matricial.
3. Se toma un conjunto de funciones que definan de manera única el campo de desplazamientos dentro de cada “elemento finito” en función de los desplazamientos nodales de dicho elemento.
4. Estas funciones de desplazamientos definirán entonces de manera única el estado de deformación del elemento en función de los desplazamientos nodales. Estas deformaciones, junto con las propiedades constitutivas del material, definirán a su vez el estado de tensiones en todo el elemento, y por consiguiente en sus contornos.
5. Se determina un sistema de fuerzas concentradas en los nodos, tal que equilibre las tensiones en el contorno y cualesquiera cargas repartidas, resultando así una relación entre fuerzas y desplazamientos de la forma $F = K \cdot u$, que como vemos es similar a la del cálculo matricial.

Cálculo y resolución de sistemas de ecuaciones

En un problema mecánico lineal no-dependientes del tiempo, como un problema de análisis estructural estático o un problema elástico, el cálculo generalmente se reduce a obtener los desplazamientos en los nodos y con ellos definir de manera aproximada el campo de desplazamientos en el elemento finito.

Cuando el problema es no-lineal en general la aplicación de las fuerzas requiere la aplicación incremental de las fuerzas y considerar incrementos numéricos, y calcular en cada incremento algunas magnitudes referidas a los nodos. Algo similar sucede con los problemas dependientes del tiempo, para los que se considera una sucesión de instantes, en general bastante cercanos en el tiempo, y se considera el equilibrio instantáneo en cada instante. En general estos dos últimos tipos de problemas requieren un tiempo de cálculo más elevado que en un problema estacionario y lineal.

Postproceso

Actualmente, el MEF es usado para calcular problemas tan complejos, que los ficheros que se generan como resultado del MEF tienen tal cantidad de datos que resulta conveniente procesarlos de alguna manera adicional para hacerlos más comprensible e ilustrar diferentes aspectos del problema. En la etapa de post-proceso los resultados obtenidos de la resolución del sistema son tratados, para obtener representación gráfica y obtener magnitudes derivadas, que permitan extraer conclusiones del problema.

El post-proceso del MEF generalmente requiere software adicional para organizar los datos de salida, de tal manera que sea más fácilmente comprensible el resultado y permita decidir si ciertas consecuencias del problema son o no aceptables.

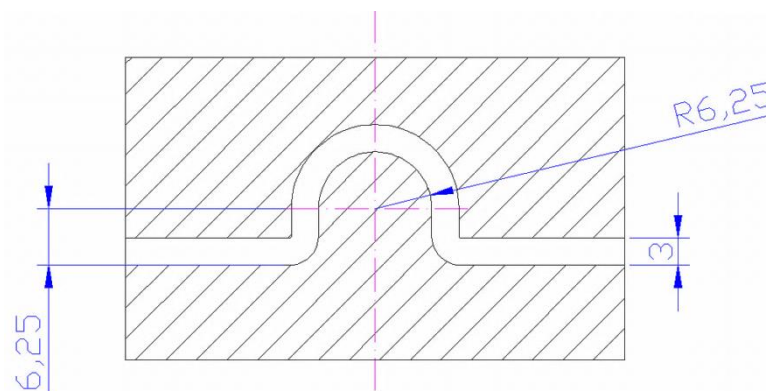
4.2 DESARROLLO Y RESULTADOS DEL MODELO 2D

En la realización de este proyecto, se ha realizado el estudio y diseño de procesos y componentes de la matriz de manera teórica.

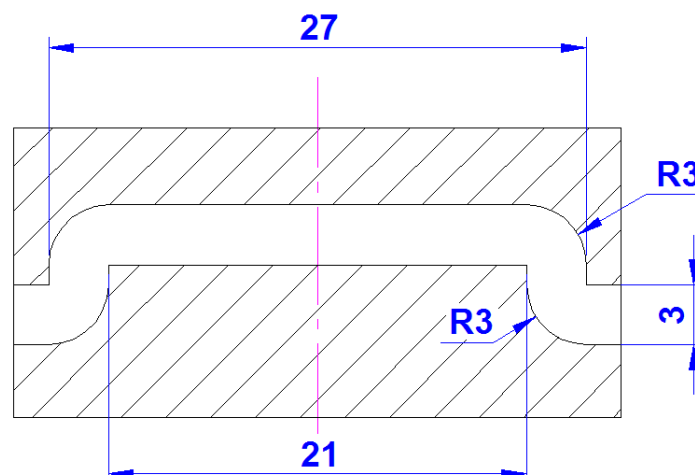
En los siguientes apartados, se muestran los pasos necesarios a la hora de calcular nuestro diseño mediante elementos finitos (MEF), que nos servirá para hacernos una idea para realizar estimaciones sobre el comportamiento que ofrecerá el utillaje en funcionamiento real.

Para la práctica de los análisis se debe tener en cuenta los tres pasos o transformaciones necesarias e independientes del proceso:

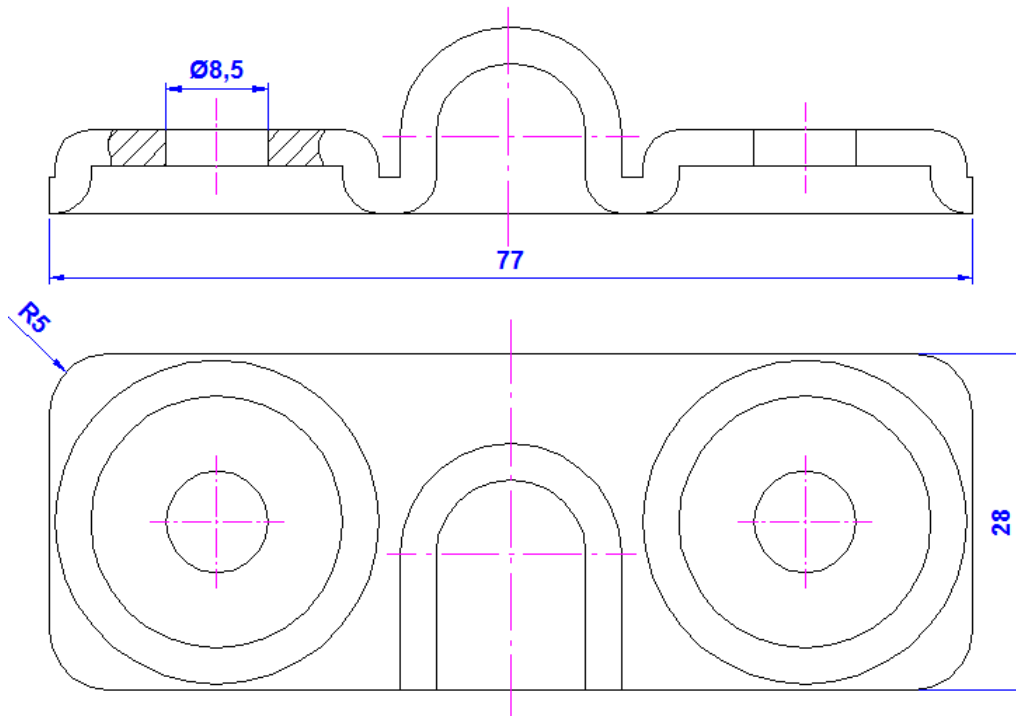
1. Estampación de la media caña: Se estampará por prensado con forma de U para asiento de varilla de $\varnothing 12$ mm.



2. Estampación de los orificios laterales: Se estamparan los orificios laterales de \varnothing_{int} de 21 mm y \varnothing_{ext} de 27 mm.



3. Troquelado de los orificios y contorno exterior.



El material a deformar, está proporcionado por el cliente, y es el que hemos utilizado para realizar nuestros ensayos en Marc Mentat. Es un acero AP12, considerado “acero dulce”.

EN 10111 (98)		UNE 36-093 (91)	DIN 1614 (86)	NF A 36- 301/92 (92)	BS 1449/91 (91)	ASTM (96)	JIS G 3131 (96)
-	-	-	-	-	HR4	-	-
DD 11	1.0332	AP 11	Stw 22	1C	HR3	A 569 HRCQ	SPHC
DD 12	1.0398	AP 12	RRStw 23	-	HR2	A 621 HRCQ	SPHD
DD 13	1.0335	AP 13	Stw 24	3C	HR1	A 622 HRDQSK	SPHE
DD 14	1.0389						

Figura 4.2. Tabla de equivalencias entre distintas normas

El acero AP 12 es un acero perfectamente destinado para la embutición y conformación en frío. El campo de aplicación de estos aceros va desde el plegado y la embutición ligera DD 11 (AP 11), hasta la realización de las piezas más complicadas y delicadas por embutición profunda DD 14.

Su composición y características:

COMPOSICIÓN QUÍMICA % según EN 10111				
	C	Mn	P	S
DD 11	≤ 0,12	≤ 0,60	≤ 0,045	≤ 0,045
DD 12	≤ 0,10	≤ 0,45	≤ 0,035	≤ 0,035
DD 13	≤ 0,08	≤ 0,40	≤ 0,030	≤ 0,030
DD 14	≤ 0,08	≤ 0,35	≤ 0,025	≤ 0,025

Figura 4.3. Tabla de composición química

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS según EN 10111						
	Re		Rm	A₈₀		A₅
	(N/mm ²)		(N/mm ²)	(%)		(%)
	1,5 ≤ d < 2,00	2,00 ≤ d ≤ 8		1,5 ≤ d < 2,00	2,00 ≤ d < 3,00	3,00 ≤ d ≤ 8,00
DD 11	170 - 360	170 - 340	≤ 440	≥ 23	≥ 24	≥ 28
DD 12	170 - 340	170 - 320	≤ 420	≥ 25	≥ 26	≥ 30
DD 13	170 - 330	170 - 310	≤ 400	≥ 28	≥ 29	≥ 33
DD 14	170 - 310	170 - 290	≤ 380	≥ 31	≥ 32	≥ 36

Figura 4.4. Tabla de características mecánicas de distintos materiales

Las características mecánicas del material AP12 son las siguientes:

AP 12	
Módulo de elasticidad	210.000 MPa
Coefficiente de Poisson (μ)	0,3
Densidad	7850 Kg/m ³
Resistencia mecánica	≤ 420 MPa

Figura 4.5. Tabla de características mecánicas de material utilizado para el ensayo

Se tiene los datos del ensayo de tracción, lo que va a facilitar mucho a la hora de hacer las simulaciones en el programa para que sea lo más parecido a la realidad posible, ya que se conoce con certeza los resultados más característicos del material AP12.

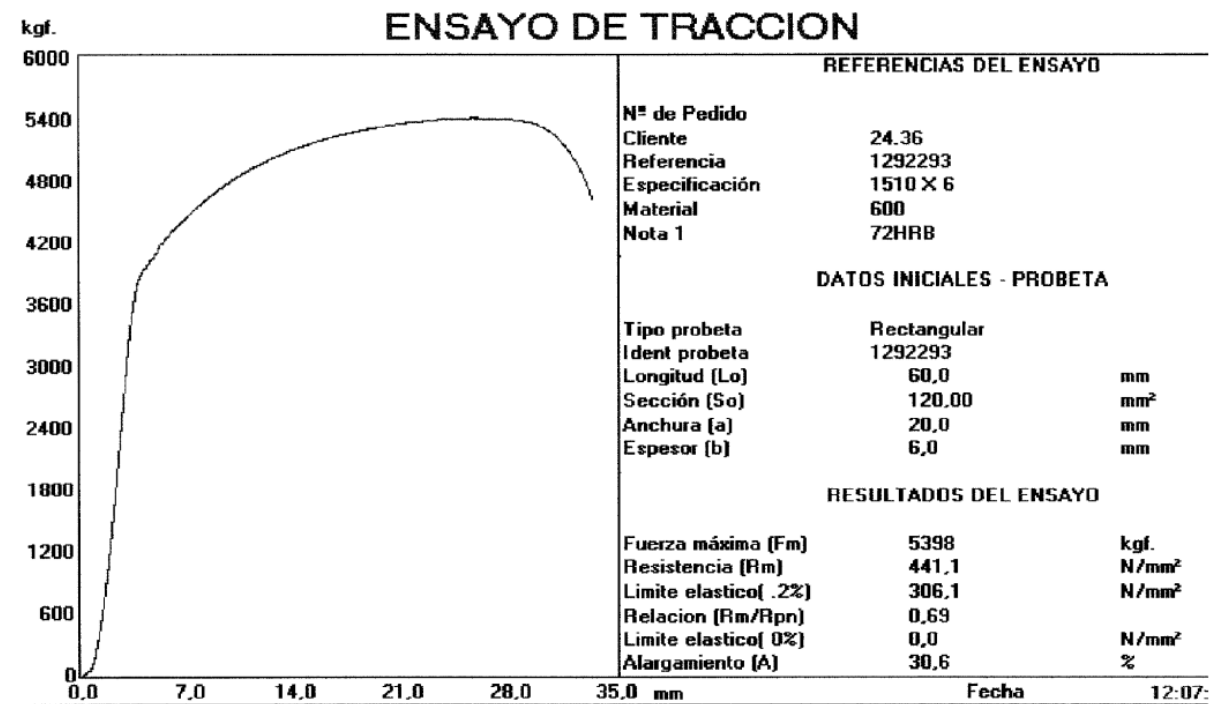


Figura 4.6. Ensayo de tracción, Acero AP12

4.2.1 ESTAMPACIÓN DE LA MEDIA CAÑA

Debido a que el diseño es bastante elemental, se crea directamente en el programa MarcMentat, en lugar de pasarlo directamente desde formato .DWG, ya que de vez en cuando, da algún tipo de problema.

Pasamos a describir el proceso de generación de las matrices (PREPROCESO):

- Para empezar, se crea el croquis para la simulación, con las dimensiones reales de la matriz y sus características técnicas mediante “mesh generation”.

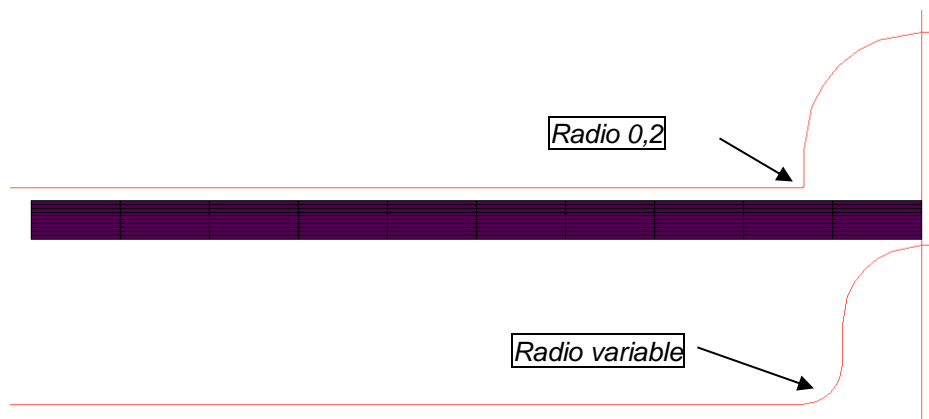


Figura 4.7. Modelo en MarcMentat de la estampación de la media caña

Se establece poner un radio de acuerdo de 0,2 mm a la matriz superior, para que el material fluya y no se produzcan desgarros e imperfecciones que hagan defectuosa la pieza, además de no poner radio de acuerdo 0 mm, ya que el programa puede dar problemas.

A partir de aquí se procede a realizar el análisis con estos parámetros, pudiendo modificarlos en el caso de que se vean resultados negativos en la pieza.

Se realiza un mallado “REMESHINGPIEZA” de la pieza, haciendo un mallado con las siguientes divisiones, creando una malla necesaria para la simulación y obtención de datos:

- 10 en dirección X
- 10 en dirección Y
- 1 en dirección Z

Una vez realizado el mallado, se hace hincapié en la zona de la pieza donde más deformación va a sufrir, y se efectúa un ramallado más estricto, ayudando a la resolución de los datos más importantes y a la obtención de mejores resultados de la pieza como se puede observar en la siguiente figura,

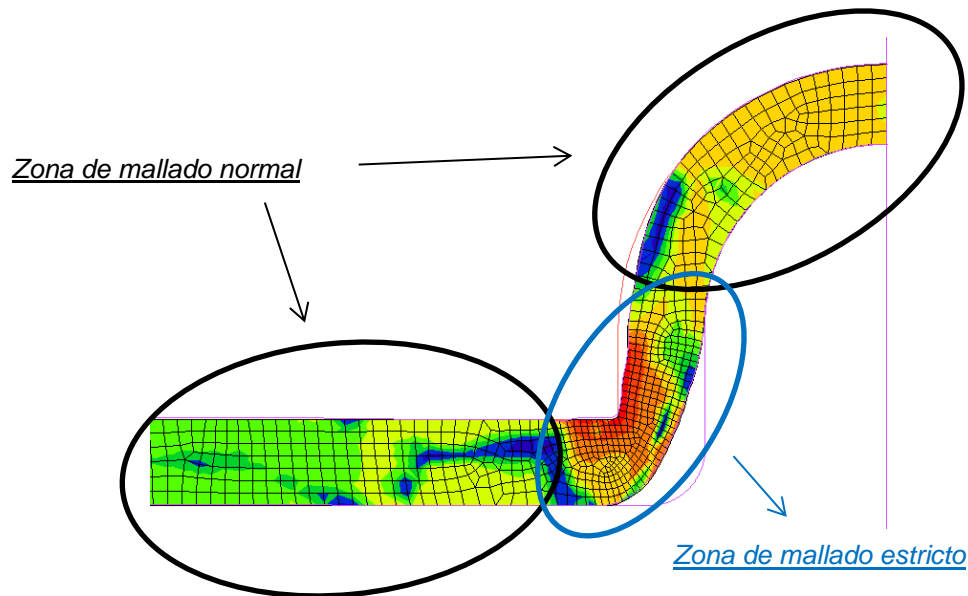


Figura 4.8. Distintas zonas de mallado de la pieza

Para remallar la zona más conflictiva que va a sufrir nuestra pieza, se utiliza un remallado plano “PLANAR” denominado “ADVANCING FRONT QUAD” con los siguientes parámetros:

- Frecuencia “FREQUENCY”: 25
- Longitud de elemento “ELEMENT EDGE LENGTH”: 0,5 mm.

Terminado el mallado del croquis, se definen las propiedades geométricas de la matriz, se considera una anchura en el eje Z de 1 mm de chapa “THICKNESS”, lo que permitirá el cálculo de la fuerza del proceso multiplicándolo por cada mm de anchura.

Con respecto a las propiedades del material con el que se trabaja y que se ha comentado en el apartado anterior, se crea un nuevo material con un módulo de elasticidad (E) de 210.000 MPa y un coeficiente de Poisson (ν) de 0,3.

Se crea una tabla con las propiedades mecánicas del material “STEEL”. Se elige el tipo de tabla “EQUIVALENT PLASTIC STRAIN”, y se fabrica el

gráfico que determina la fluencia y comportamiento plástico del material como se puede ver a continuación.

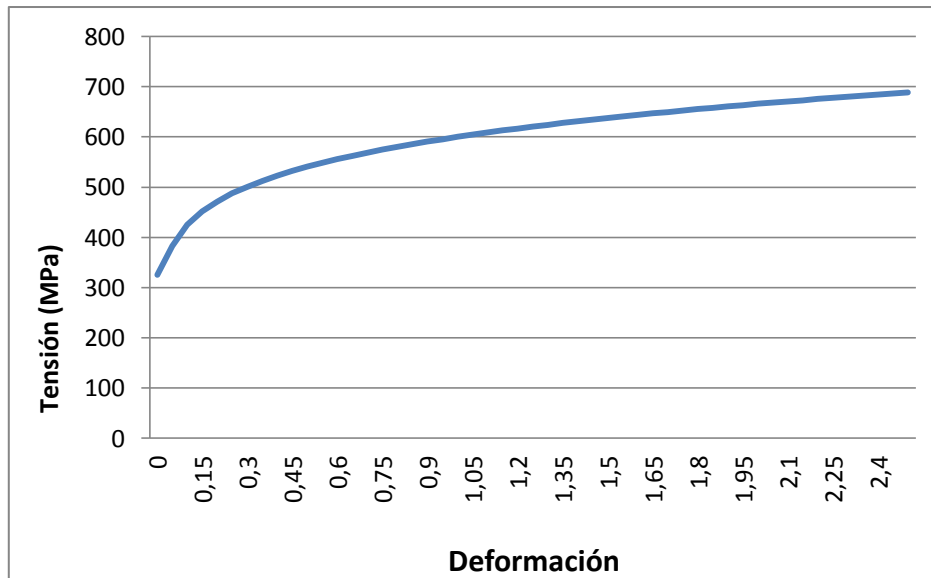


Figura 4.9. Curva de endurecimiento de material AP 12

Una vez creada la geometría de la pieza, se pasa a la sección de los elementos de contacto “CONTACT BODIES” en la que se va a tener cuatro elementos:

- Matriz inferior
- Pieza
- Matriz superior
- Simetría

La matriz inferior y superior, van a ser cuerpos no deformables y rígidos. La pieza va a obtener la forma deseada, en este caso, se debe poner, cuerpo deformable, con un coeficiente de fricción o rozamiento “FRICTION COEFFICIENT” entre las matrices superior e inferior de 0,3 para que se tenga en cuenta a la hora de la deformación. Por último, la simetría se realiza para ahorrar tiempo en la creación de la geometría y que el programa no trabaje tanto realizando cálculos, ya que al fin y al cabo sería realizarlos dos veces por igual.

A la hora del desplazamiento vertical (eje Y) de la matriz superior, se tiene en cuenta que baja hasta dejar un espesor de 3 mm entre matrices, ya

que la matriz inferior esta fija. Al ser el espesor de la pieza de 3 mm queda encajada entre las matrices de forma perfecta, teóricamente.

La definición de los cuerpos de contacto en el programa, queda asignado de la siguiente manera:

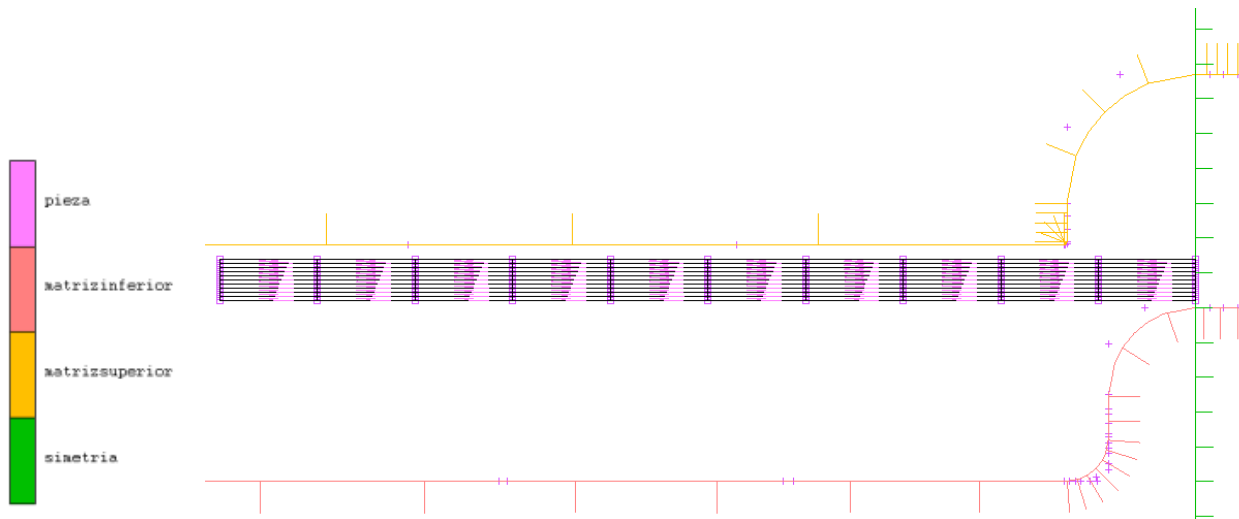


Figura 4.10. Modelo en MarcMentat con los contactos de los cuerpos definidos

LOADCASE

En esta simulación tenemos un único caso de carga. Es un caso de carga de tipo estructural estático “STRUCTURAL static”, en el que se modeliza la deformación plástica del material durante la estampación de la media caña. Hay 250 pasos hasta que se completa dicha estampación.

JOBS

Los resultados que se piden son:

- Deformación plástica equivalente “TOTAL EQUIVALENT PLASTIC STRAIN”.
- Tensión de von Misses “EQUIVALENT VON MISES STRESS”.
- Daños “DAMAGE”.
- Gráfico de la Fuerza de la matriz inferior.

RESULTADOS OBTENIDOS

Deformación plástica equivalente “TOTAL EQUIVALENT PLASTIC STRAIN”

En las siguientes imágenes se va a observar los resultados de las deformaciones plásticas equivalentes que sufre la chapa en sus puntos más críticos, y se explicará la elección del diseño óptimo, de entre los que se proponen.

El radio de acuerdo de la matriz superior siempre va a ser de 0,2mm ya que así lo exige el diseño de la pieza. De esta forma, sólo se va a variar el radio de acuerdo de la matriz inferior entre 2 mm, 3,2 mm, 5 mm y 7,5 mm.

Matriz inferior con radio de acuerdo 2 mm

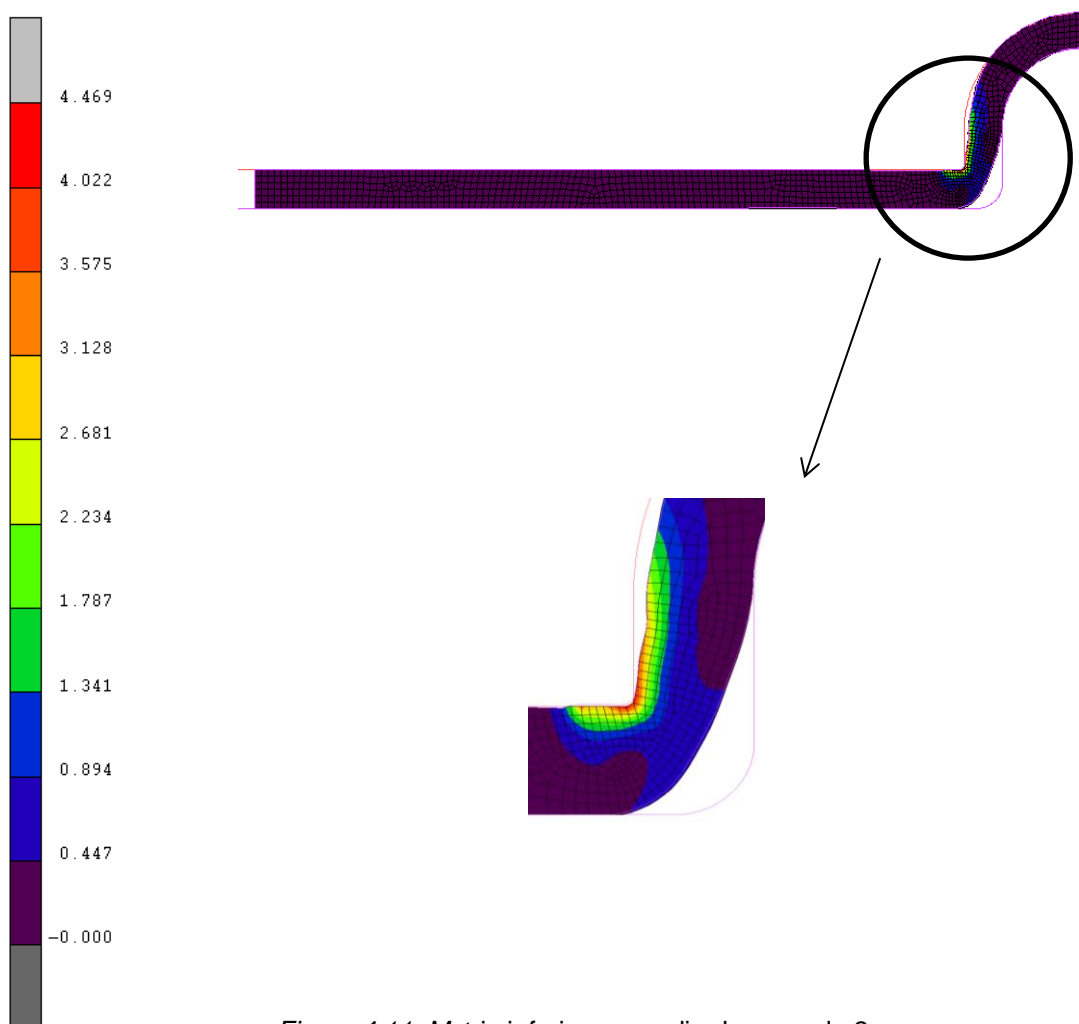


Figura 4.11. Matriz inferior con radio de acuerdo 2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 3,2 mm

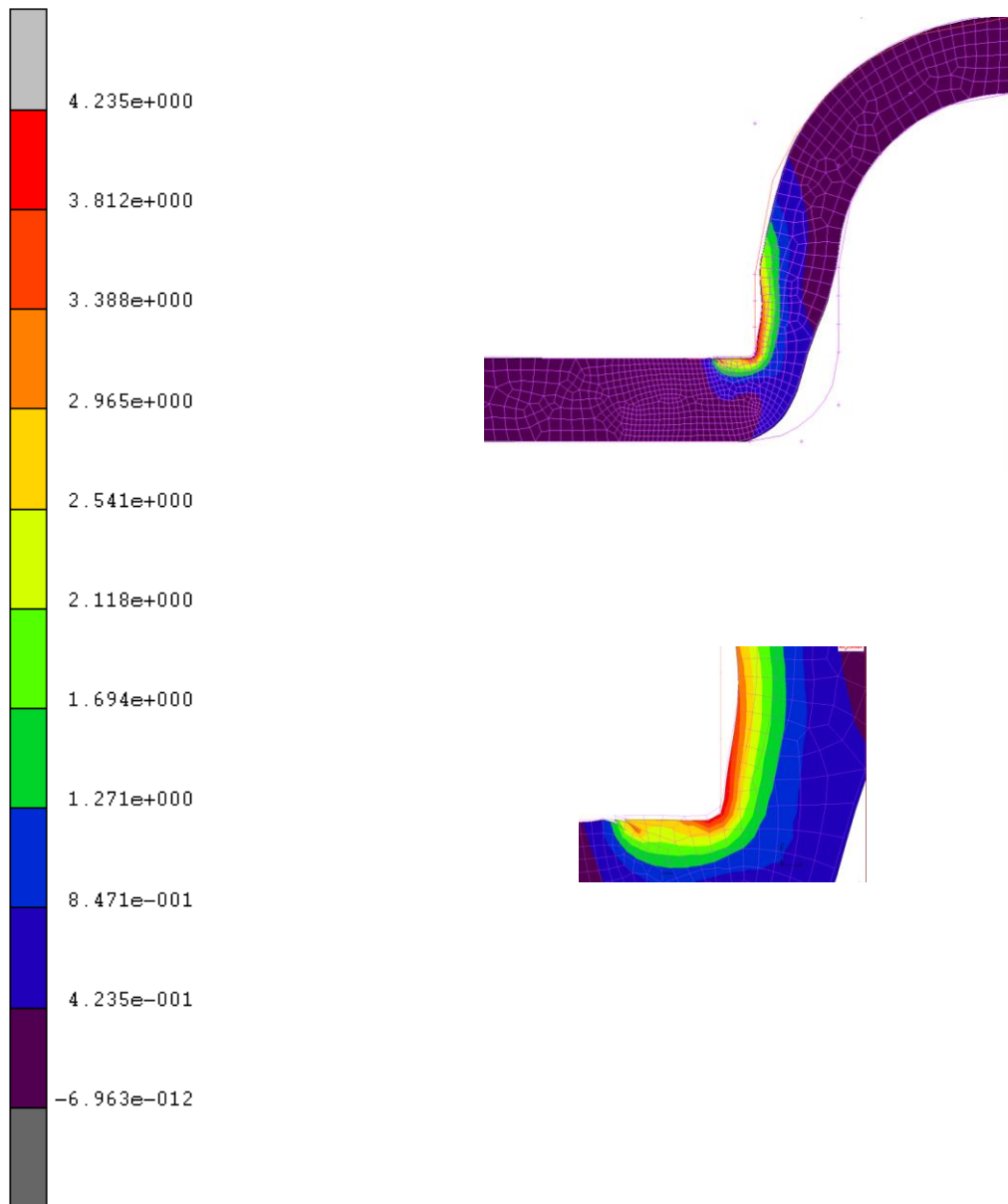


Figura 4.12. Matriz inferior con radio de acuerdo 3,2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 5 mm

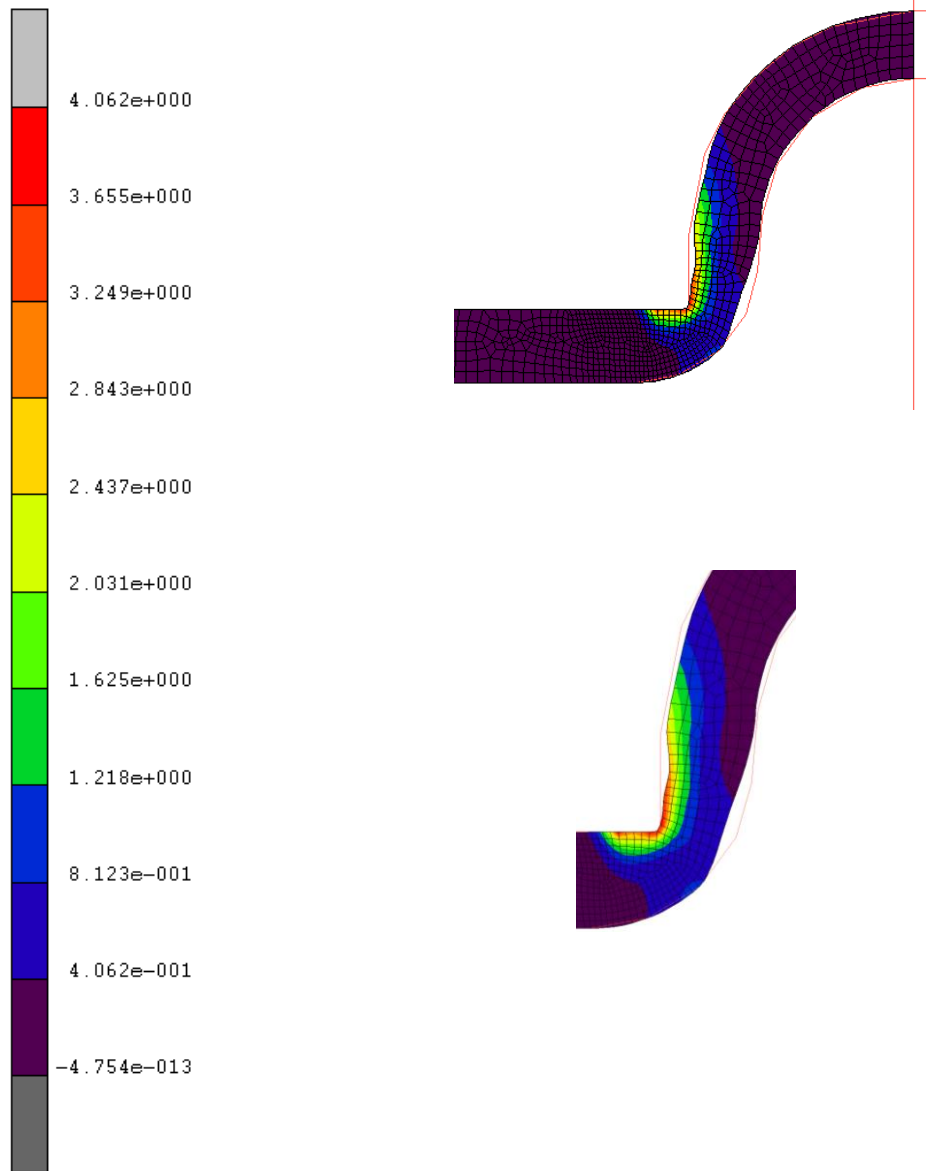


Figura 4.13. Matriz inferior con radio de acuerdo 5 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 7,5 mm

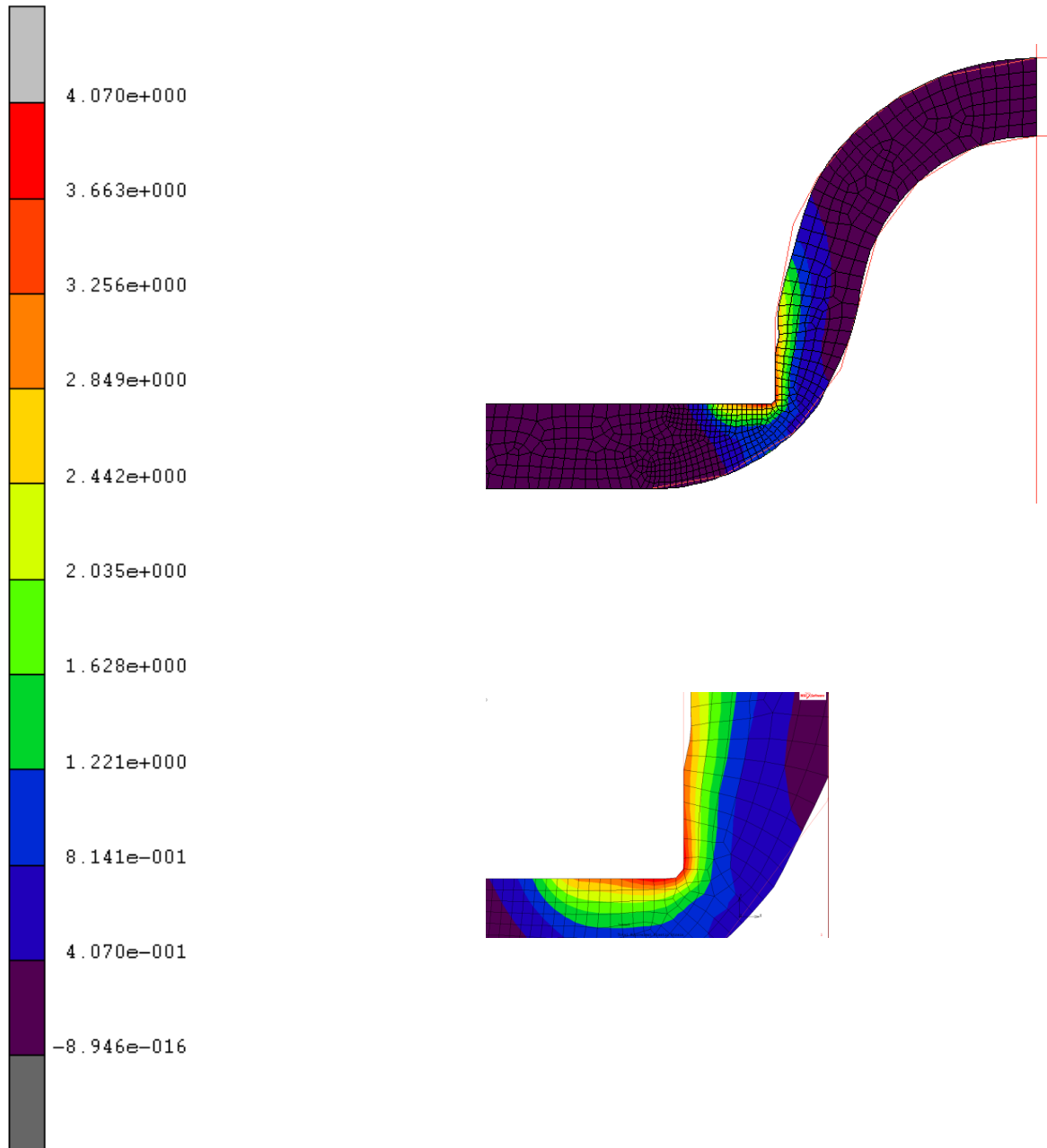


Figura 4.14. Matriz inferior con radio de acuerdo 7,5 mm

En las anteriores imágenes se observan las diferentes deformaciones plásticas que aparecen, según se han ido modificando los radios de acuerdo de la matriz inferior del conjunto.

Los radios de acuerdo como se ha dicho antes, son de 2 mm, 3,2 mm, 5 mm y 7,5 mm. Siendo el radio de acuerdo de la matriz superior siempre 0,2 mm por exigencias geométricas.

Como se puede observar en las fotografías, el punto más crítico de la pieza, está en la zona de radio de acuerdo de la matriz superior 0,2 mm. Esto es debido a que al tener el radio de acuerdo tan pequeño y la fuerza que la matriz ejerce sobre la pieza, da como consecuencia que la matriz superior ejerce mucha presión sobre la pieza, produciendo la mayor deformación plástica en ese punto.

Después de analizar los ensayos con los distintos radios de acuerdo, ya se puede deducir que se pueden desechar los ensayos con radio de acuerdo en matriz inferior de 2 mm y 3,2 mm, ya que las deformaciones plásticas que aparecen en la zona crítica, se extienden a lo largo de la pieza con una gran variación de gradiente lo cual no es bueno o aceptable para el proyecto así como para la pieza. Así como el ensayo de radio de acuerdo de 7,5 mm, ya que entre los dos radios de acuerdo de la matriz superior e inferior, se crea un espesor inferior a los 3 mm que tiene que tener la pieza, lo cual debilita en exceso la sección de la pieza, pudiendo haber problemas futuros que llevaría a la rotura de la pieza en esta sección.

Para concluir con el ensayo de la deformación plástica equivalente “TOTAL EQUIVALENT PLASTIC STRAIN”, se opta por elegir la geometría de con radio de acuerdo en la matriz inferior de 5 mm, ya que el gradiente que aparece en la pieza, es bastante uniforme, con un máximo de **3,249**. Se aprecia que la plasticidad es más uniforme que con los radio de acuerdo de 2 y 3,2 mm, que alcanzan valores aproximados máximos de **4,022** y **3,812** respectivamente. Por lo que se ve claramente que nuestro ensayo más seguro y fiable es el radio de acuerdo en la matriz inferior de 5 mm.

Tensión de von Mises “EQUIVALENT VON MISES STRESS”

A continuación se pasa a observar las tensiones de Von Mises con los diferentes radios de acuerdo como se ha hecho anteriormente, para pasar a observar las distribuciones de tensiones y su punto más crítico en diferentes incrementos durante el proceso de estampado de la media caña.

Matriz inferior con radio de acuerdo 2 mm

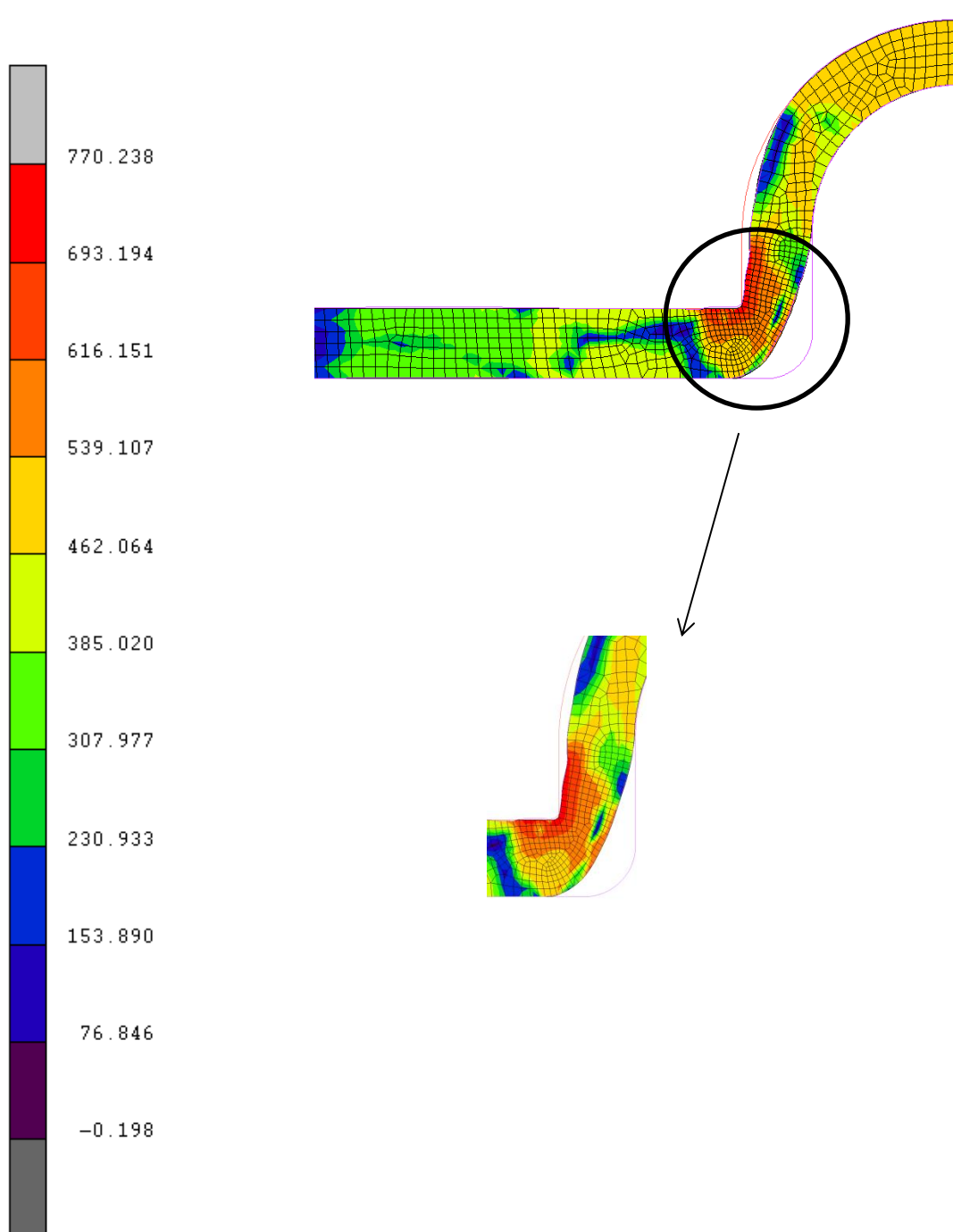


Figura 4.15. Matriz inferior con radio de acuerdo 2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 3,2 mm

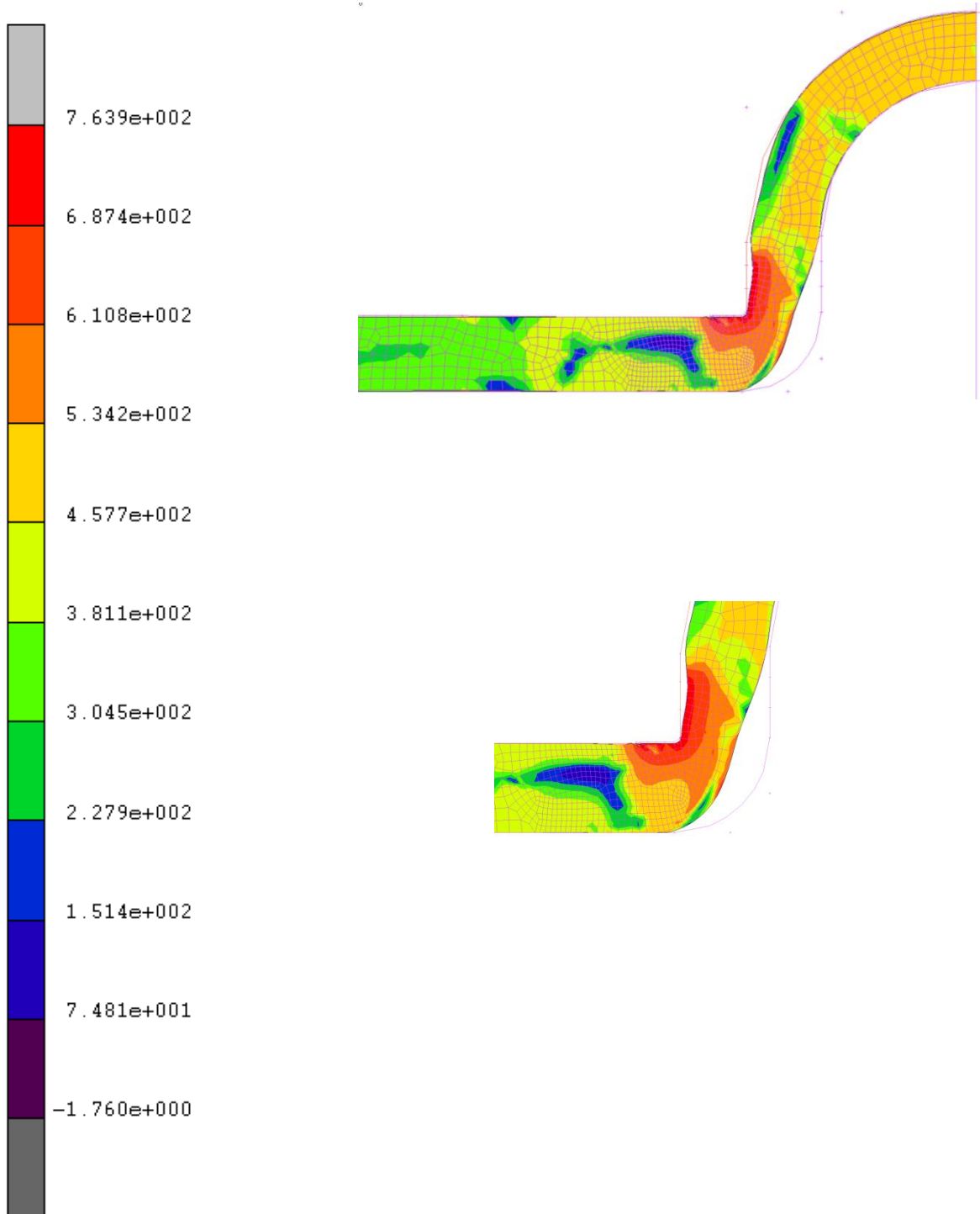


Figura 4.16. Matriz inferior con radio de acuerdo 3,2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 5 mm

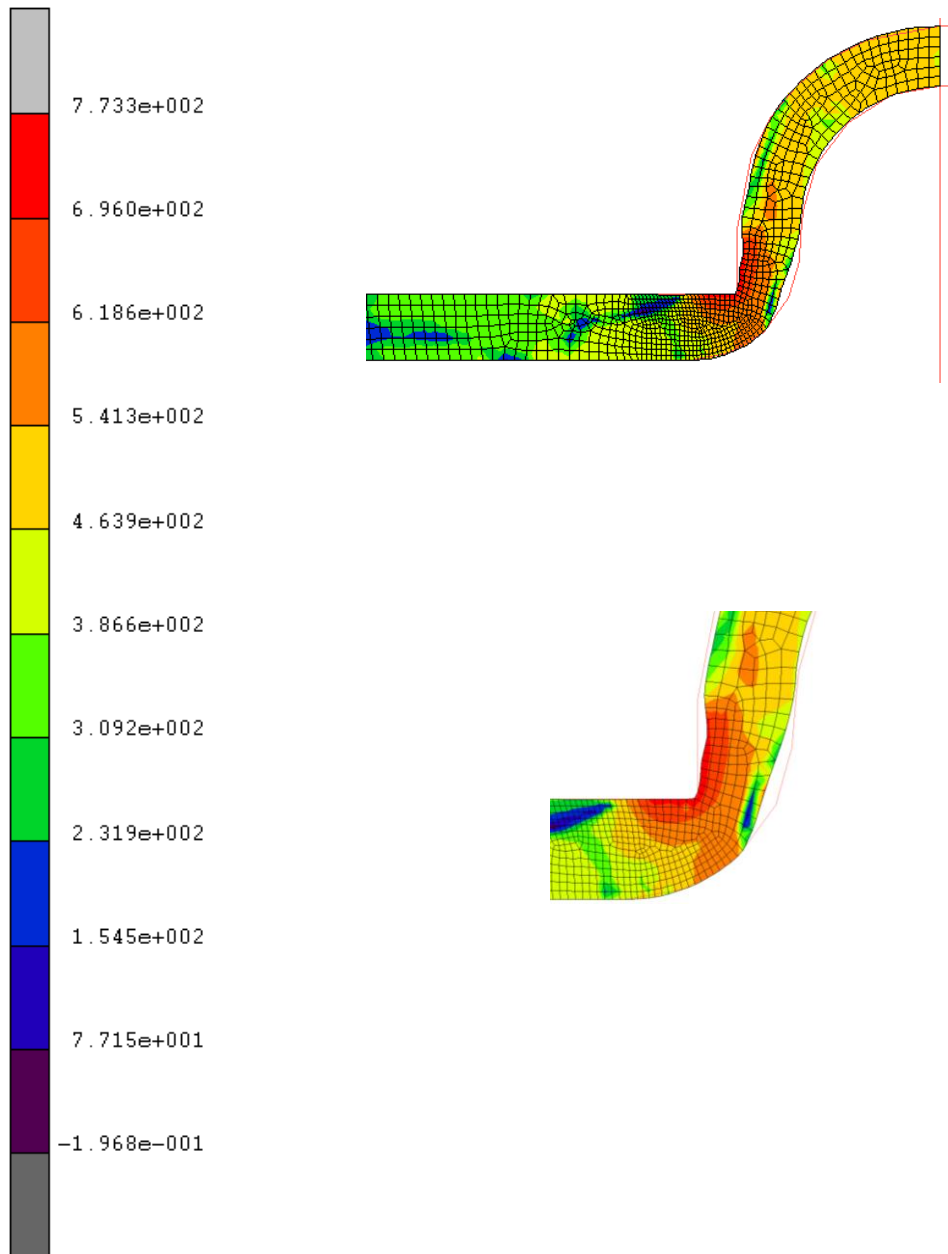


Figura 4.17. Matriz inferior con radio de acuerdo 5 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 7,5 mm

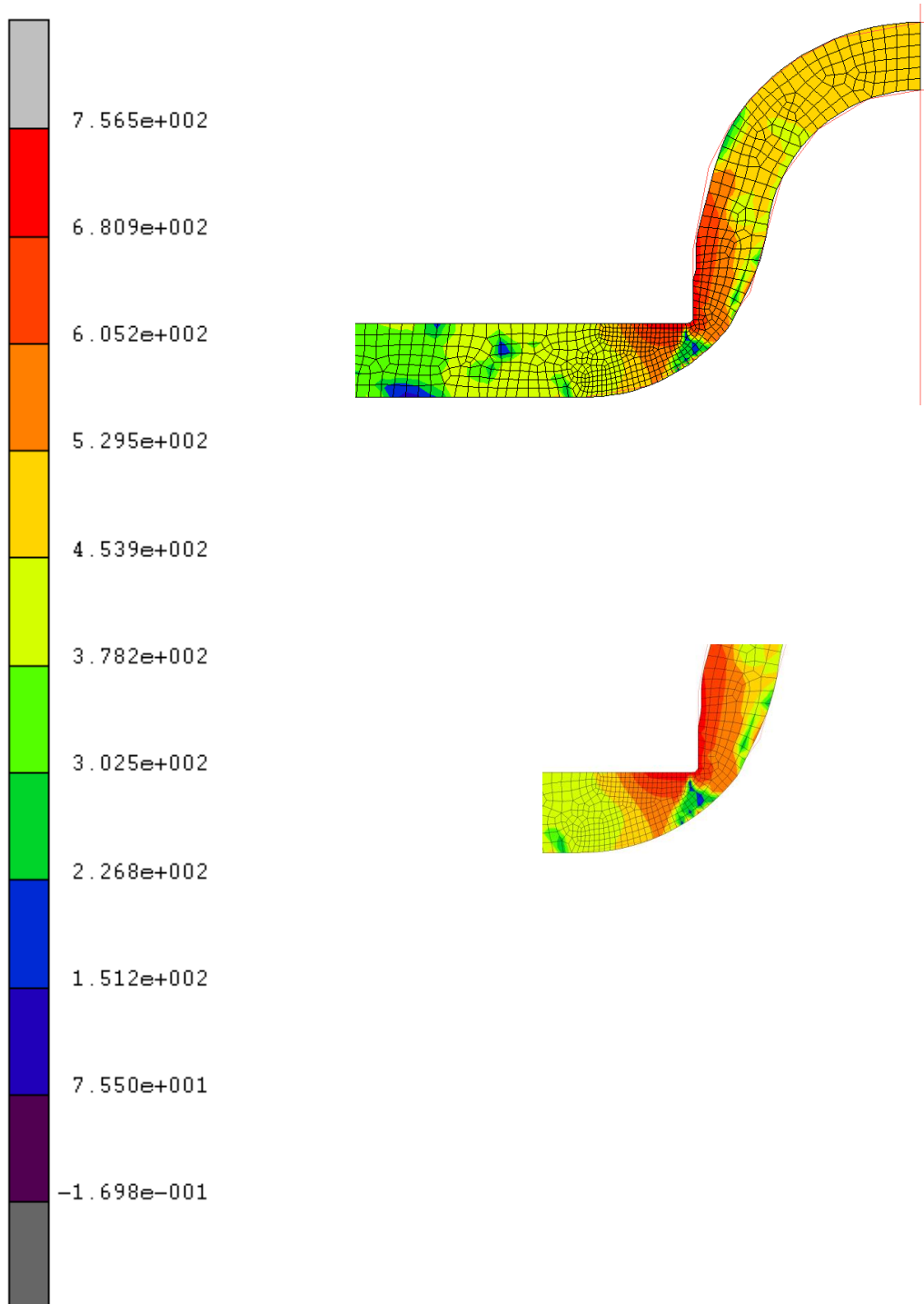


Figura 4.18. Matriz inferior con radio de acuerdo 7,5 mm

Después de ver las imágenes, se puede observar las diferentes tensiones de von Mises que aparecen en la pieza cuando se estampa la media caña. Como se ha dicho anteriormente, el ensayo con radio de acuerdo 7,5 mm en la matriz inferior, se descarta, ya que reduce en exceso el espesor de la pieza, pudiendo haber problemas futuros que llevaría a la rotura de la pieza en dicha sección.

Por otra parte, los ensayos con radio de acuerdo en la matriz inferior, de 2 mm y 3,2 mm, la sección crítica siempre va a ser la zona en la que la matriz superior tiene radio de acuerdo de 2 mm, ya que al ser poca superficie, produce un gran gradiente de tensiones. Llegando a los 693,194 MPa y 687,4 MPa respectivamente.

Por último, queda decir que el ensayo con radio de acuerdo en matriz inferior de 5 mm, se puede ver que se ajusta perfectamente a lo que se busca. Se ve que las tensiones no tienen un gradiente excesivo y que son homogéneas en la mayoría de la deformación, llegando a un máximo de 618,6 MPa.

Daño “DAMAGE”

En este apartado, se observa el daño que sufre la pieza en los diferentes ensayos con los diferentes radios de acuerdo en la matriz inferior, como se viene haciendo anteriormente. Se tendrá en cuenta la zona de la pieza que está en contacto con el radio 0,2 de la matriz superior, ya que es donde más va a afectar a dicha pieza.

Matriz inferior con radio de acuerdo 2 mm

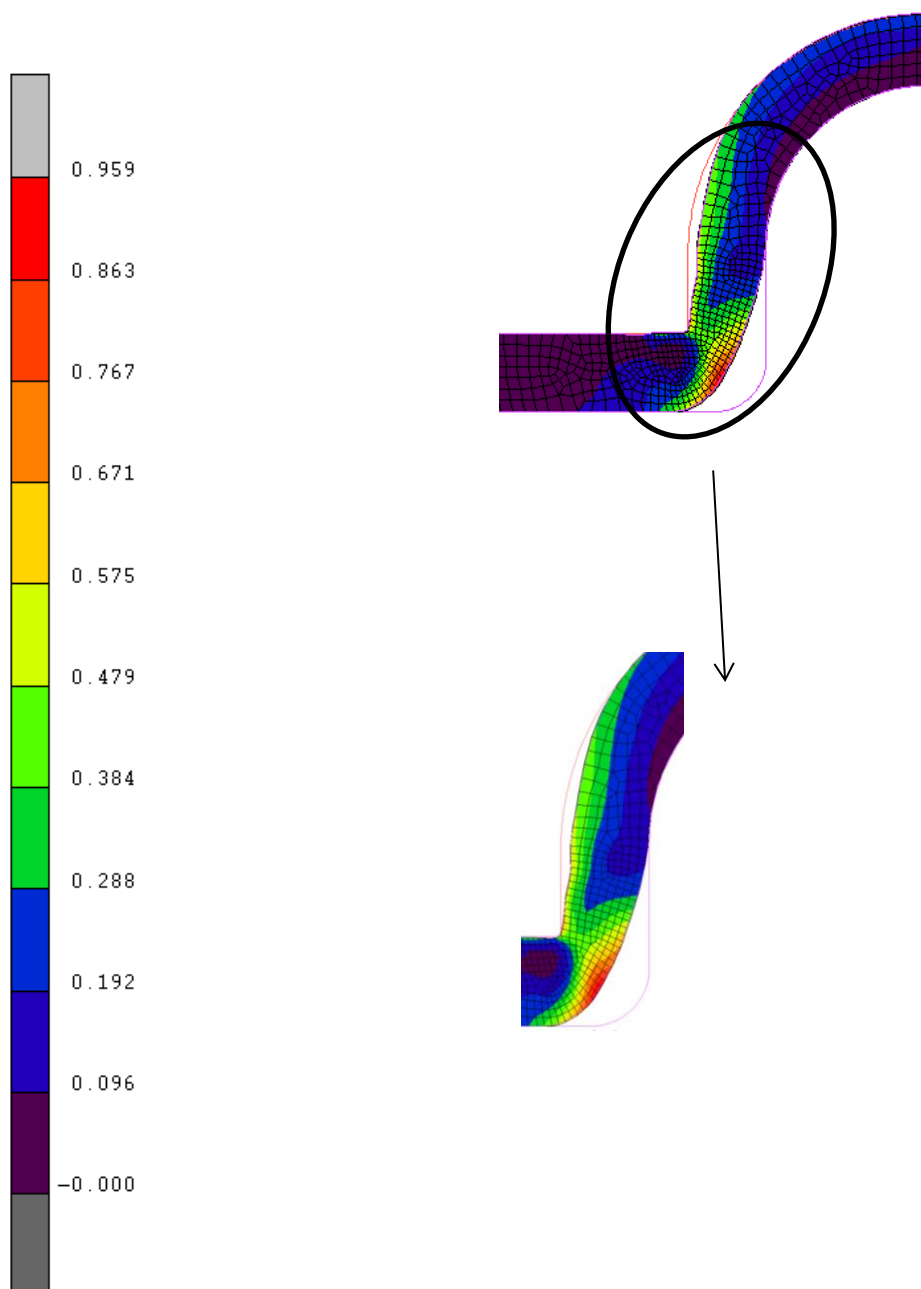


Figura 4.19. Matriz inferior con radio de acuerdo 2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 3,2 mm

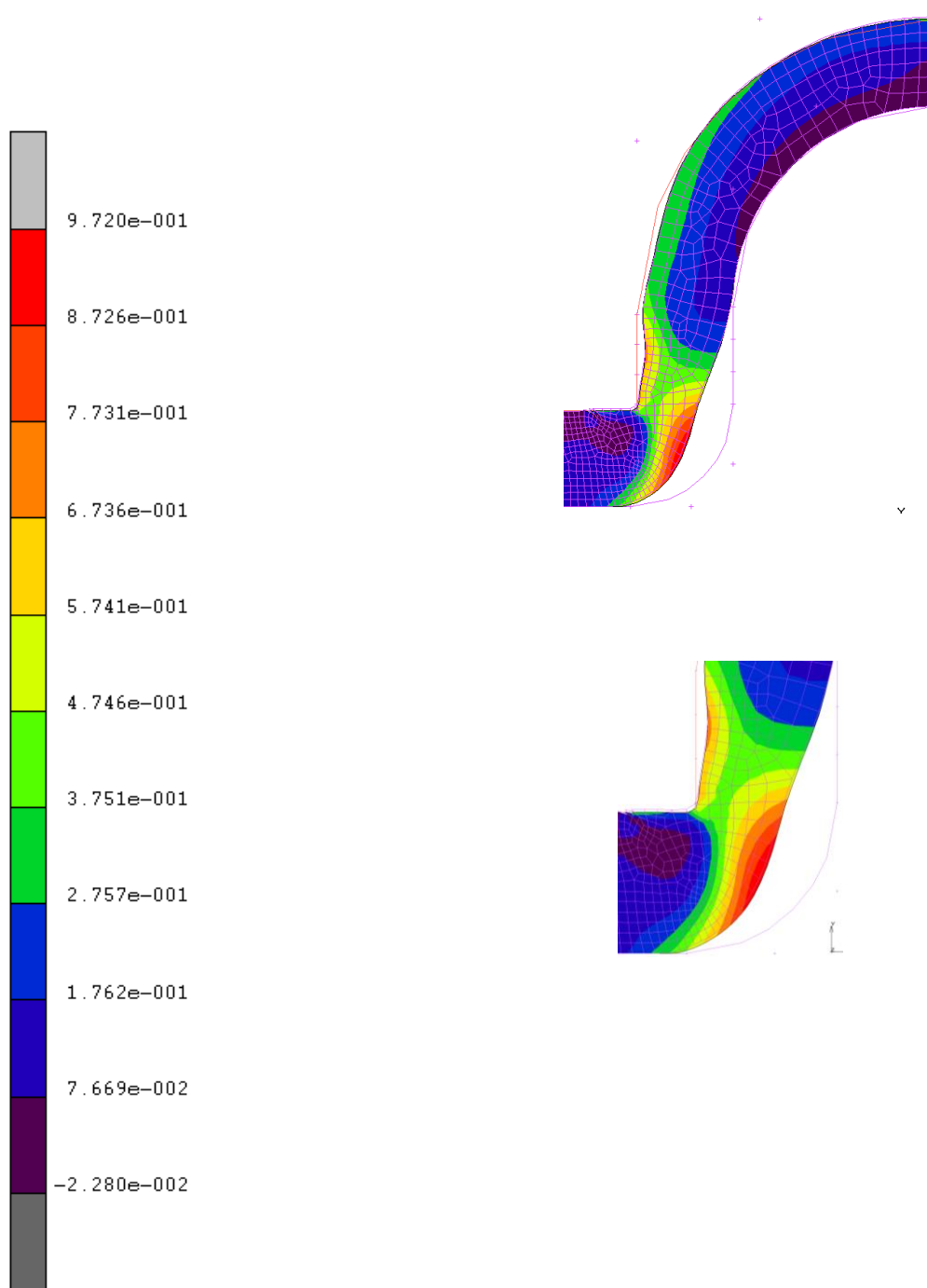


Figura 4.20. Matriz inferior con radio de acuerdo 3,2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 5 mm

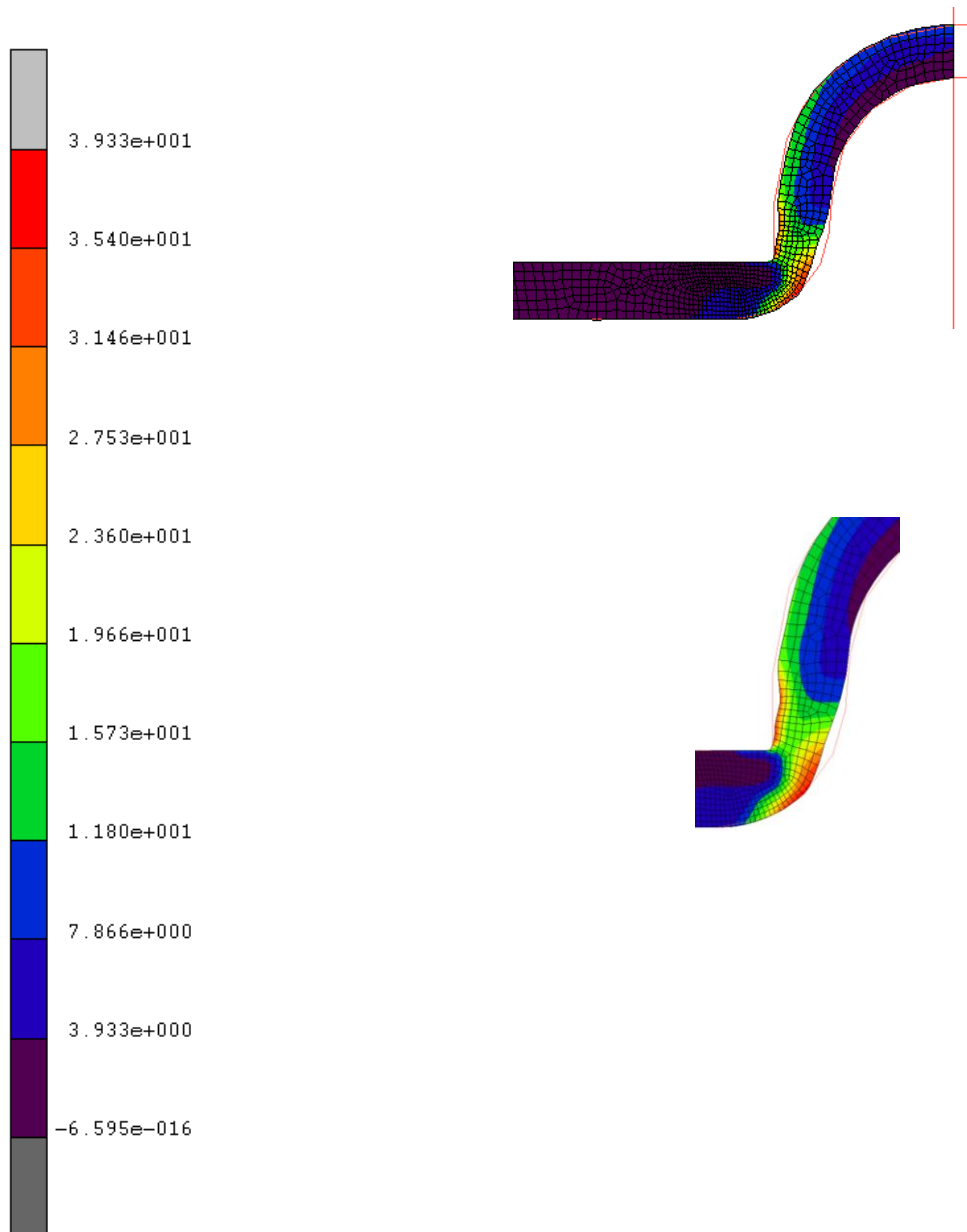


Figura 4.21. Matriz inferior con radio de acuerdo 5 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 7,5 mm

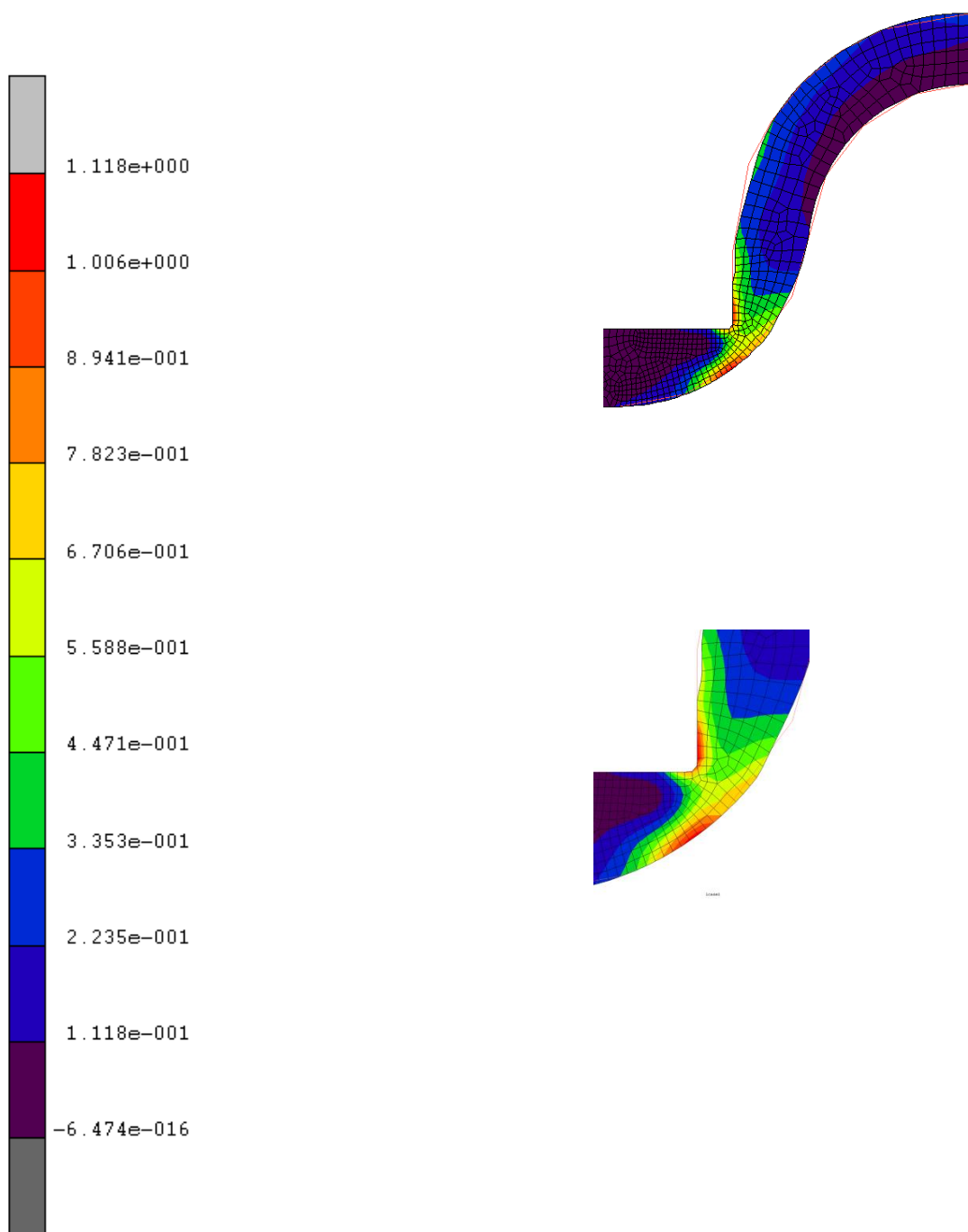


Figura 4.22. Matriz inferior con radio de acuerdo 7,5 mm

Como ya se sabe, la última simulación se desecha, por lo que se conoce anteriormente, que al disminuir el espesor de la pieza, se hace en esa sección más débil y por lo tanto más tendencia a que sufra problemas futuros, como rotura por fatiga o pequeñas grietas que lleven a la rotura en dicho punto mediante el uso o pequeños golpes.

En el ensayo con radios de acuerdo en la matriz inferior de 2 mm y 3,2 mm, se puede observar que la pieza por donde más sufre es por el lado en el que las fibras se estiran, trabajando a tracción. Al ser el daño adimensional, se guía por el color de los ensayos, viendo que tienen un gradiente bastante grande y parecido. Por otra parte se ve que al ser el radio tan pequeño, hace que la pieza no quede lo suficientemente apoyada, lo cual, el material fluye libremente, lo que da más tendencia al estiramiento de las fibras.

En estos dos ensayos, se observa que el daño es menor ya que se ve en las imágenes que los gradientes no son tan grandes y los valores no son tan elevados como en el ensayo anterior. Con esto se puede llegar a la conclusión de que cuanto mayor es el valor de daño de “Cockroft&Latham” mayor es la probabilidad de que aparezcan grietas.

Con lo dicho sobre el daño en estos tres ensayos, sólo nos queda decir, que el ensayo que queda por observar, es el que tiene radio de acuerdo en la matriz inferior de 5 mm. Al pasar a examinarlo, se puede decir que el gradiente es muy pequeño en comparación con los otros ensayos, por lo cual, se puede deducir, que la pieza sufre menos daño con en el ensayo en el que la matriz inferior tiene de radio de acuerdo 5 mm. Como se ha dicho antes, al apoyar mayor superficie en la matriz inferior en la zona radial, hace que no fluya tan libre, lo que hace que la pieza sufra menos daño al tener menor predisposición a estirarse.

Fuerza que ejerce la matriz inferior

En el siguiente apartado, se va a reflejar la fuerza que ejerce la matriz inferior sobre la pieza. Se mide en Newton.

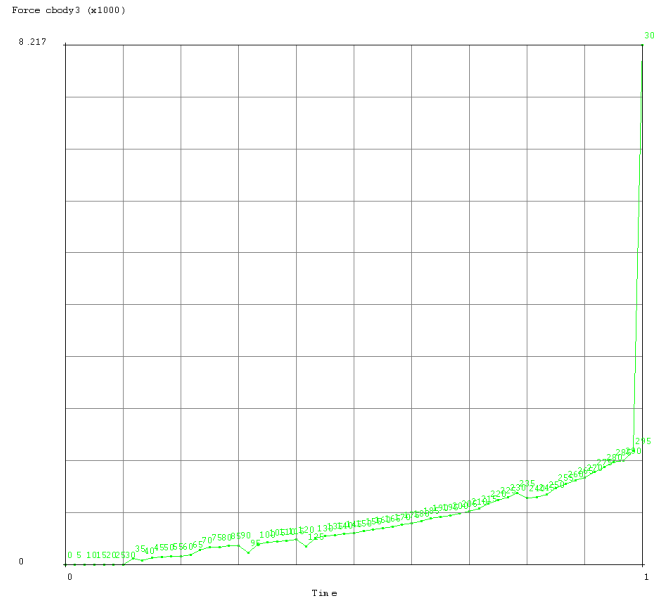


Figura 4.23. Fuerza matriz inferior con radio de acuerdo 2 mm

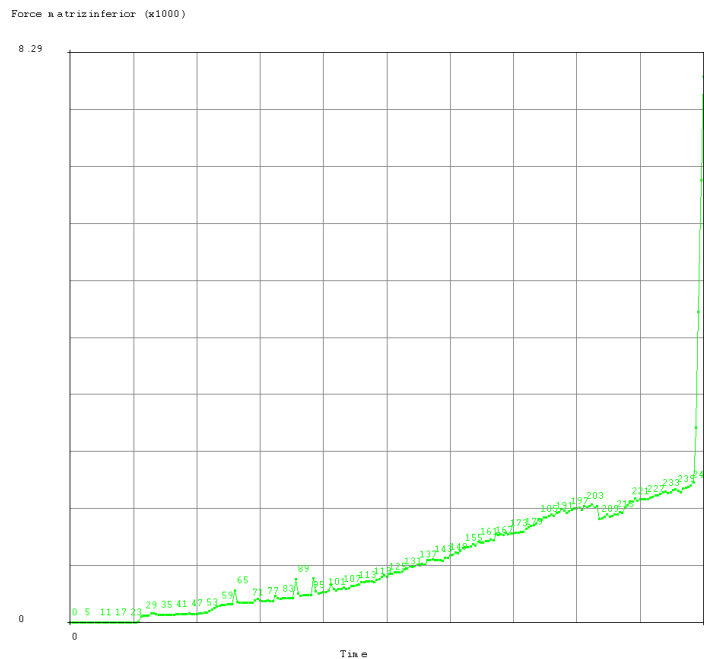


Figura 4.24. Fuerza matriz inferior con radio de acuerdo 3,2 mm

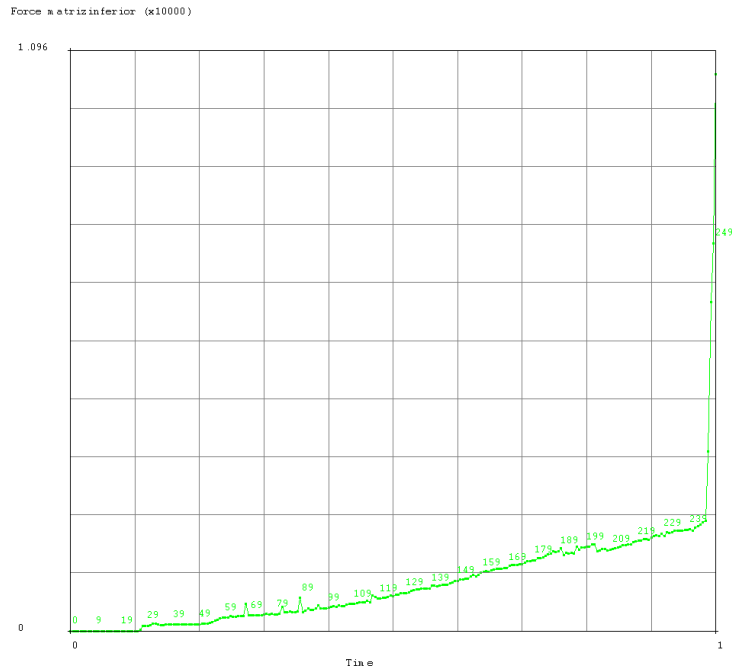


Figura 4.25. Fuerza matriz inferior con radio de acuerdo 5 mm

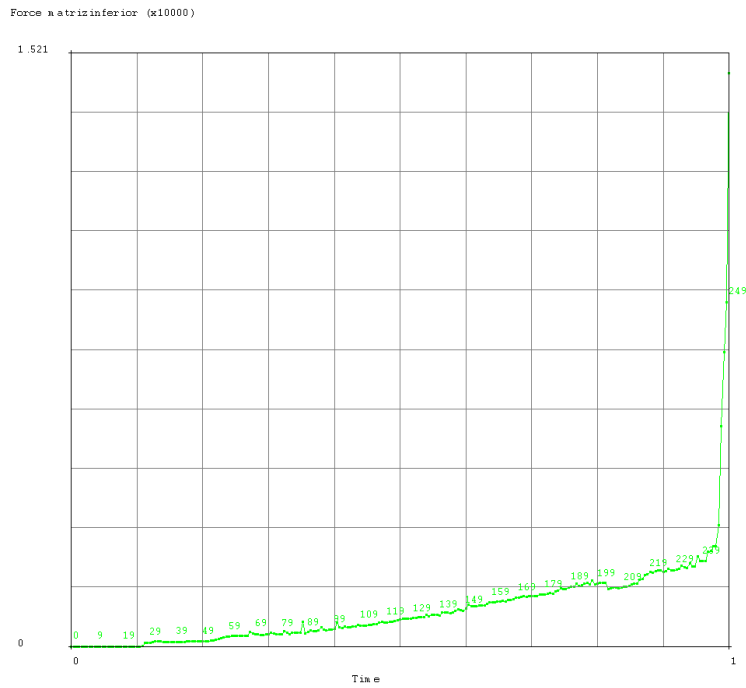


Figura 4.26. Fuerza matriz inferior con radio de acuerdo 7,5 mm

En la siguiente tabla se exponen los valores máximos que alcanza la matriz superior en el proceso de estampación de los orificios laterales.

Radio acuerdo matriz inferior	Valor máx ($\times 10^3$ N)
2	8,217
3,2	8,29
5	10,74
7,5	15,21

Figura 4.27. Tabla de valores máximos

Como se puede observar, todos los gráficos tienen una forma similar, lo cual nos indica se fijará en los valores máximos para terminar de decidir que ensayo es el óptimo.

Una vez expuestos los gráficos, se ve claramente, que los ensayos con los radios de acuerdo 2 mm, 3,2 mm y 7,5 mm, tienen una fuerza más o menos constante y creciente. Obteniendo unos valores máximos de $8,217 \times 10^3$ N, $8,29 \times 10^3$ N y $15,21 \times 10^3$ N respectivamente.

Con radio de acuerdo de 5 mm, se ve que la fuerza es oscilante y con picos, lo cual no es demasiado bueno para la pieza, pero al ver su valor máximo, siendo de $10,74 \times 10^3$ N por mm de espesor, hay de decantarse claramente por este ensayo ya que no aumenta en exceso la fuerza necesaria para la forja y el resto de propiedades dan mejores resultados

Conclusiones sobre estampado de la media caña

A modo de conclusión sobre el estampado de la media caña, se puede decir con total seguridad y convencimiento, que el ensayo que más interesa de cara a la integridad de la pieza, es en el que se establece el radio de acuerdo en la matriz inferior de 5 mm.

4.2.1 ESTAMPACIÓN DE LOS ORIFICIOS LATERALES

Para la simulación de los orificios laterales, se va a realizar el mismo procedimiento que en la simulación anterior que consistía en la estampación de la media caña.

Al ser el diseño nuevamente bastante sencillo, se opta por hacer directamente en MarcMentat, y no importarlo desde formato .DWG, para evitar cualquier tipo de problema.

A continuación se describe el proceso de generación de las matrices (PREPROCESO):

- Primeramente, se crea el croquis para la simulación, con las dimensiones reales de la matriz y sus características técnicas mediante “mesh generation”.

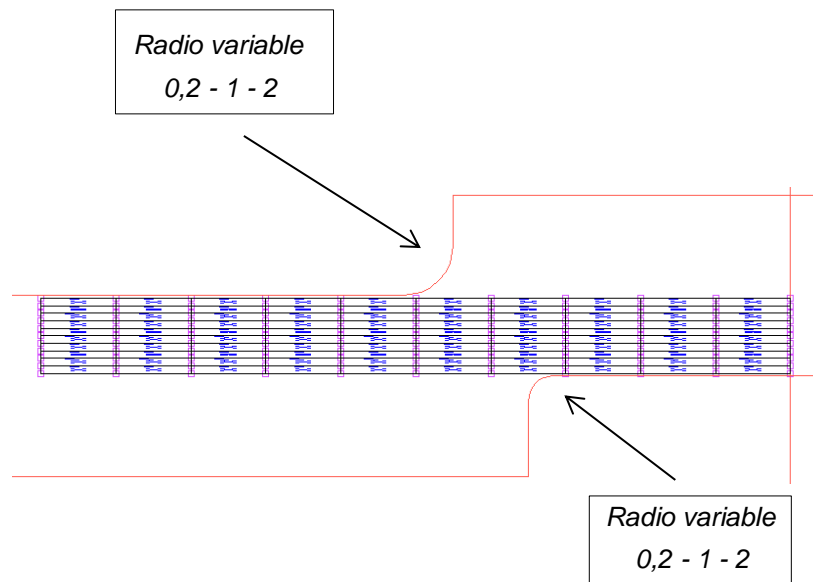


Figura 4.28. Modelo en Marc&Mentat de la estampación de los orificios laterales

Para el ensayo de estampación de los orificios laterales, se van a realizar nueve pruebas variando la dimensión de los radios de acuerdo conflictivos en las matrices, variando entre 0,2 mm, 1 mm y 2 mm. Se pone radio de acuerdo 0,2 mm en vez de 0 mm, puesto que como ya se ha visto en el ensayo de la estampación de la media caña, se hace para que no se produzcan desgarros e imperfecciones que hagan defectuosa la pieza, y evitar que el programa de problemas.

Las nueve pruebas se con todas las posibilidades de variación de los radios de acuerdo de la matriz superior y matriz inferior, se puede ver en la siguiente tabla.

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6	Ensayo 7	Ensayo 8	Ensayo 9
Matriz inferior	0,2	0,2	0,2	1	1	1	2	2	2
Matriz superior	0,2	1	2	0,2	1	2	0,2	1	2

Figura 4.29. Cuadro con las simulaciones a realizar

Con la geometría realizada, se pasa a elaborar el análisis con estos parámetros, pudiendo modificarlos en el caso de que se vean resultados negativos en la pieza.

Se crea un mallado como en el ensayo anterior “REMESHING PIEZA” de la pieza en su totalidad, haciendo un remallado con las siguientes divisiones, creando una malla necesaria para la obtención de datos:

- 10 en dirección X
- 10 en dirección Y
- 1 en dirección Z

Una vez realizado el mallado, se hace hincapié en la zona de la pieza donde más deformación va a sufrir, y se efectúa un ramallado más fino, ayudando a la resolución n de los datos más importantes y a la obtención de mejores resultados de la pieza como se puede observar en la siguiente figura.

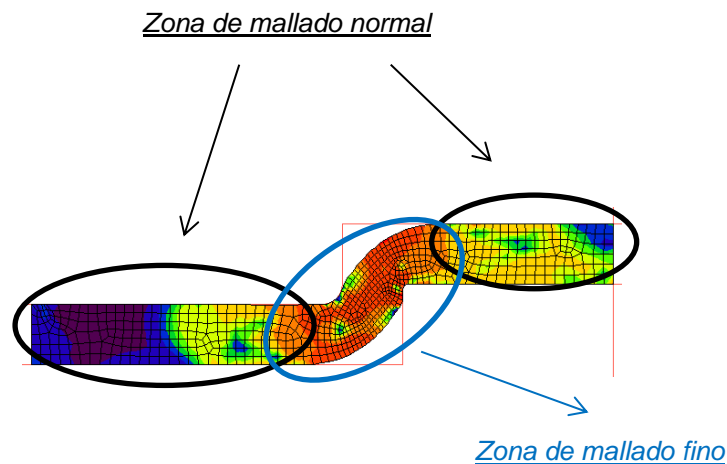


Figura 4.30. Modelo Distintas zonas de mallado de la pieza

Para remallar la zona más conflictiva que va a sufrir nuestra pieza, se utiliza un remallado plano “PLANAR” denominado “ADVANCING FRONT QUAD” con los siguientes parámetros:

- Frecuencia “FREQUENCY”: 25
- Longitud de elemento “ELEMENT EDGE LENGTH”: 0,5 mm.

Terminado el mallado del croquis, se definen las propiedades geométricas de la matriz, se considera una anchura en el eje Z de 1 mm de chapa “THICKNESS”, lo que permitirá el cálculo de la fuerza del proceso multiplicándolo por cada mm de anchura.

Con respecto a las propiedades del material con el que se trabaja y como se ha comentado en el apartado anterior, se crea un nuevo material con un módulo de elasticidad (E) de 210.000 MPa y un coeficiente de Poisson (ν) de 0,3.

Se crea una tabla como en el ensayo anterior con las propiedades mecánicas del material “STELL”. Se elige el tipo de tabla “EQUIVALENT PLASTIC STRAIN”, y se fabrica el gráfico que determina la fluencia y comportamiento plástico del material como se puede ver a continuación.

Una vez creada la geometría de la pieza, se pasa a la sección de los elementos de contacto “CONTACT BODIES” en la que se va a tener 4 elementos:

- Matriz inferior
- Pieza
- Matriz superior
- Simetría (AXYSIMETRIC)

En este ensayo se realiza con simetría axisimétrica, puesto que se pueden realizar mallados más finos y se ayuda al programa a calcular cada elemento de remallado, puesto que con simulación 3D, los elementos serían mucho más complejos, por lo tanto mucho más tiempo de calcular.

Como se comenta en el ensayo de la estampación de la media caña, la matriz inferior y superior, van a ser cuerpos no deformables y rígidos. La pieza va a obtener la forma deseada, en este caso, se debe poner, cuerpo deformable, con un coeficiente de fricción o rozamiento “FRICTION COEFFICIENT” entre las matrices superior e inferior de 0,3 para que se tenga en cuenta a la hora de la deformación. Por último, la simetría se realiza para ahorrar tiempo en la creación de la geometría y que el programa no trabaje tanto realizando cálculos.

A la hora del desplazamiento horizontal (eje X, Axisymmetric) de la matriz superior (en realidad es vertical), se tiene en cuenta que se desplaza hasta dejar un espesor de 3 mm entre matrices, ya que la matriz inferior esta fija. Al ser el espesor de la pieza de 3 mm queda encajada entre las matrices de forma perfecta, teóricamente.

La definición de los cuerpos de contacto en el programa, queda asignado de la siguiente manera:

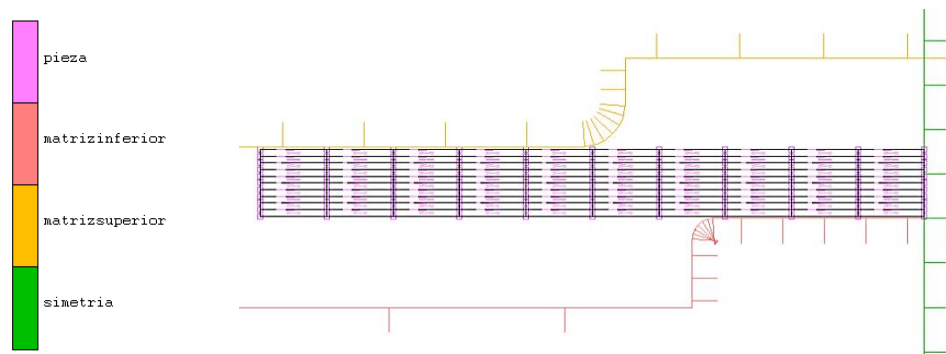


Figura 4.32. Modelo en Marc&Mentat con los contactos de los cuerpos definidos

LOADCASE

Como en el ensayo de la estampación de la media caña, en esta simulación tenemos un único caso de carga. Es un caso de carga de tipo estructural estático “STRUCTURAL static”, en el que se modeliza la deformación plástica del material durante la estampación de los orificios laterales. Hay 250 pasos hasta que se completa dicha estampación.

JOBS

Los resultados que se piden son:

- Deformación plástica equivalente “TOTAL EQUIVALENT PLASTIC STRAIN”.
- Tensión de von Misses “EQUIVALENT VON MISES STRESS”.
- Daños “DAMAGE”.
- Gráfico de la Fuerza de la matriz inferior.

RESULTADOS OBTENIDOS

Deformación plástica equivalente “TOTAL EQUIVALENT PLASTIC STRAIN”

En las siguientes imágenes se va observar los resultados de las deformaciones plásticas equivalentes que sufre la chapa en sus puntos más críticos, y se explicará la elección del diseño óptimo.

Matriz inferior con radio de acuerdo 0,2 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 0,2 mm.

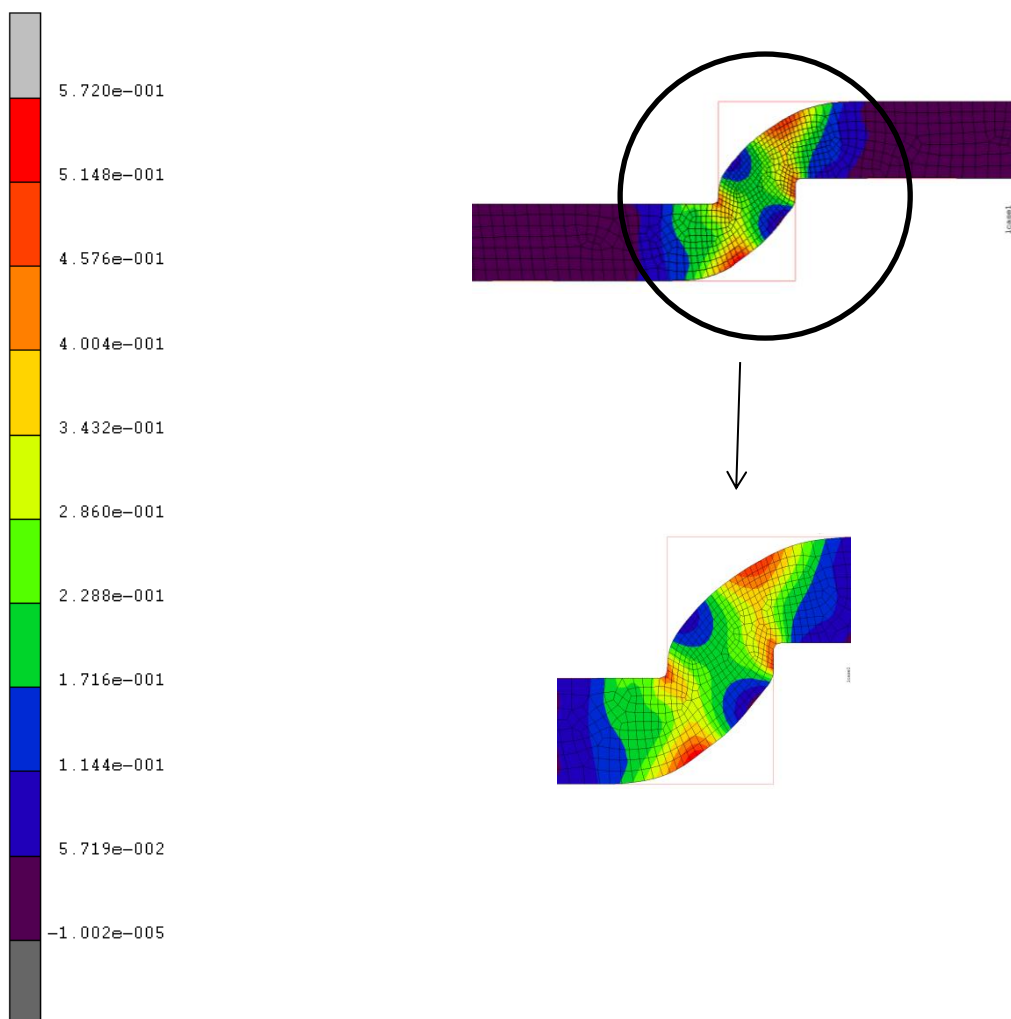


Figura 4.33. M. inferior con radio de 0,2 mm y M. superior con radio de 0,2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 0,2 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 1 mm.

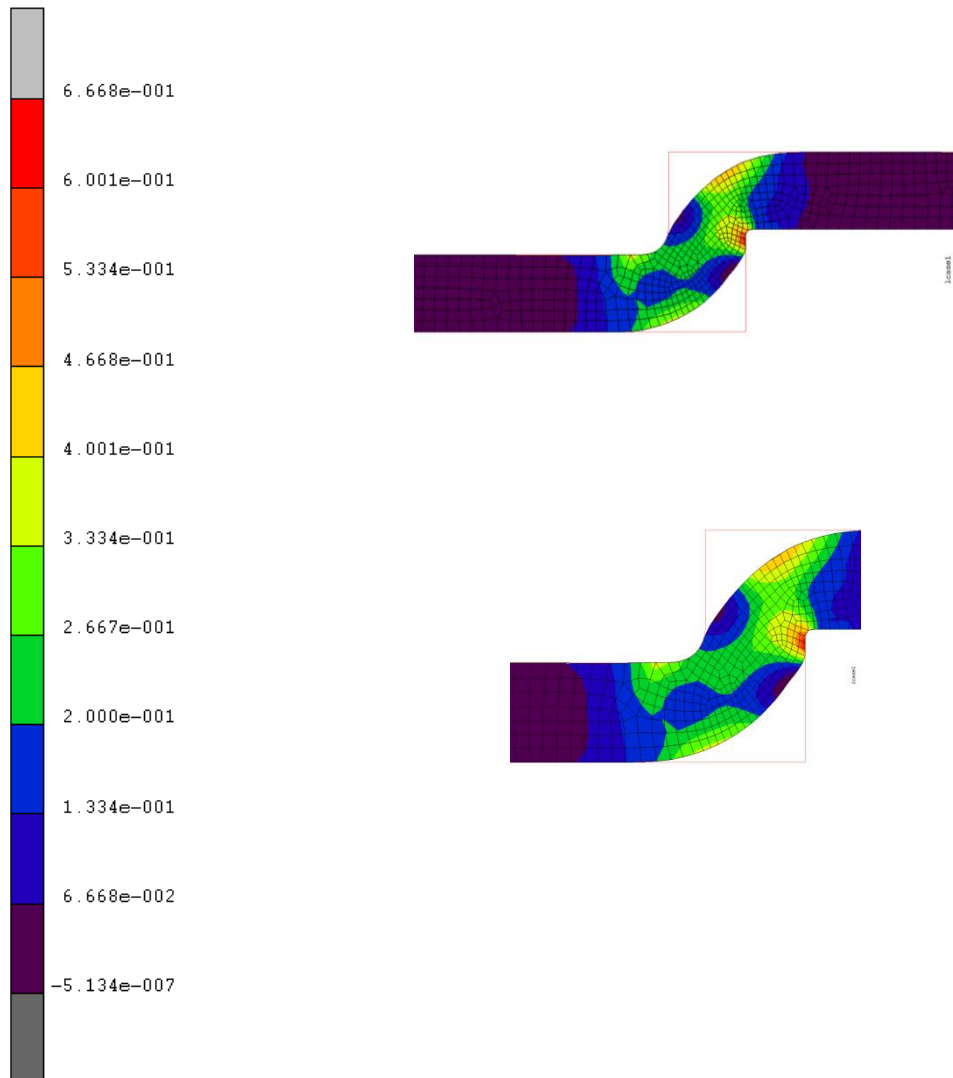


Figura 4.34. M. inferior con radio de acuerdo 0,2 mm y M. superior con radio de acuerdo 1 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 0,2 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 2 mm.

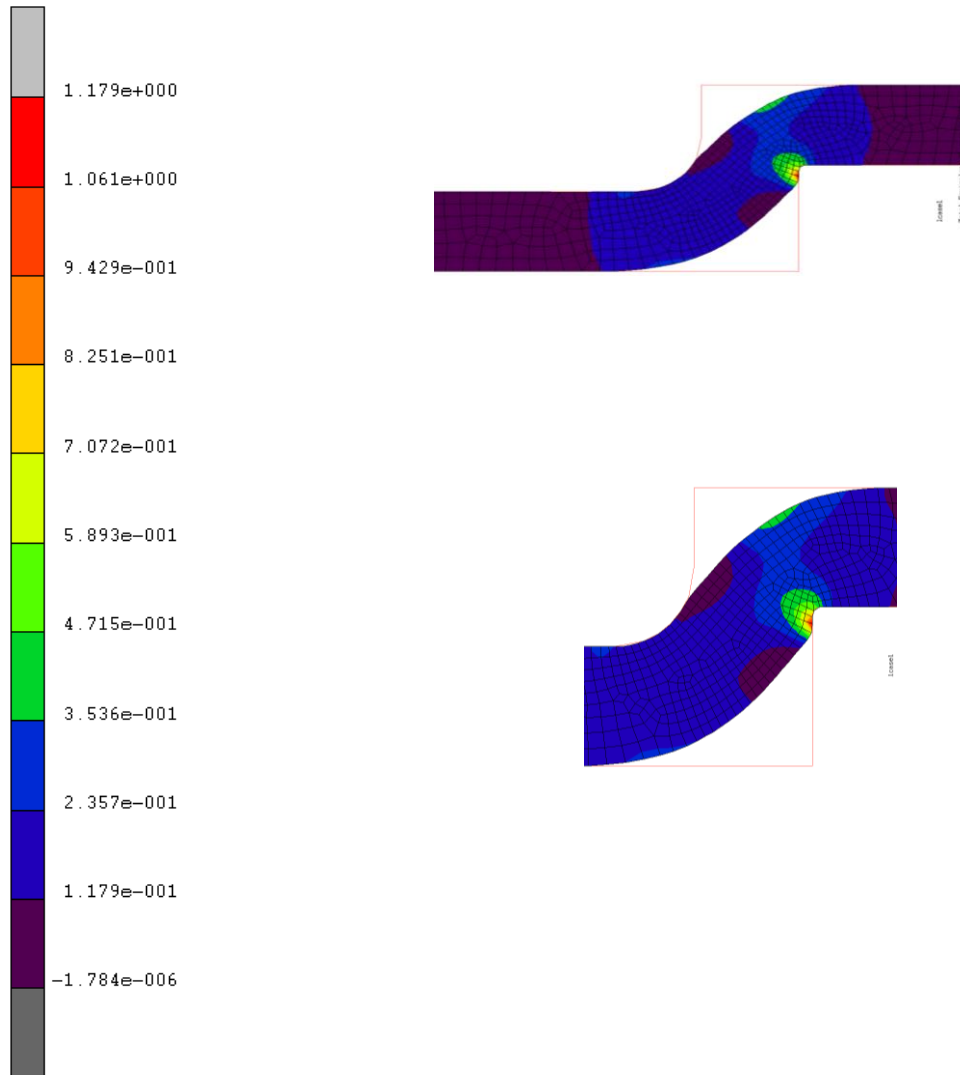


Figura 4.35. M. inferior con radio de acuerdo 0,2 mm y M. superior con radio de acuerdo 2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 1 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 0,2 mm.

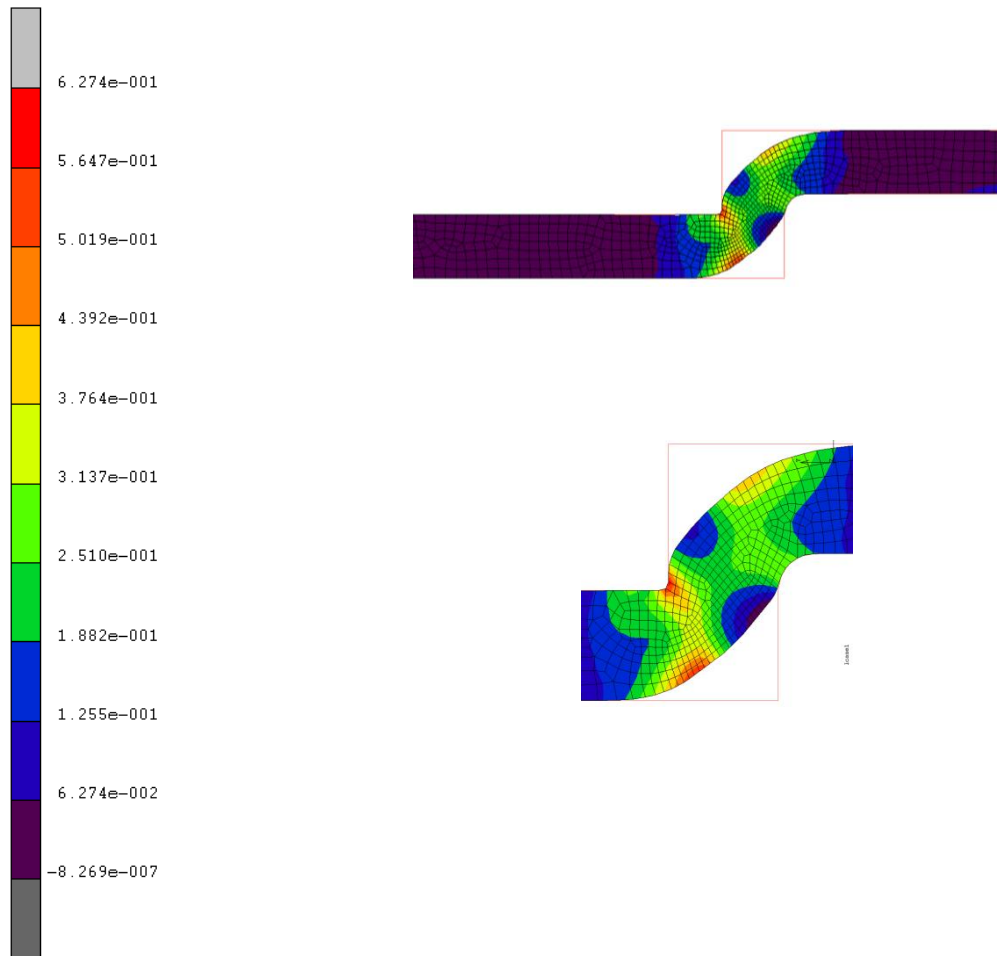


Figura 4.36. M. inferior con radio de acuerdo 1 mm y M. superior con radio de acuerdo 0,2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 1 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 1 mm.

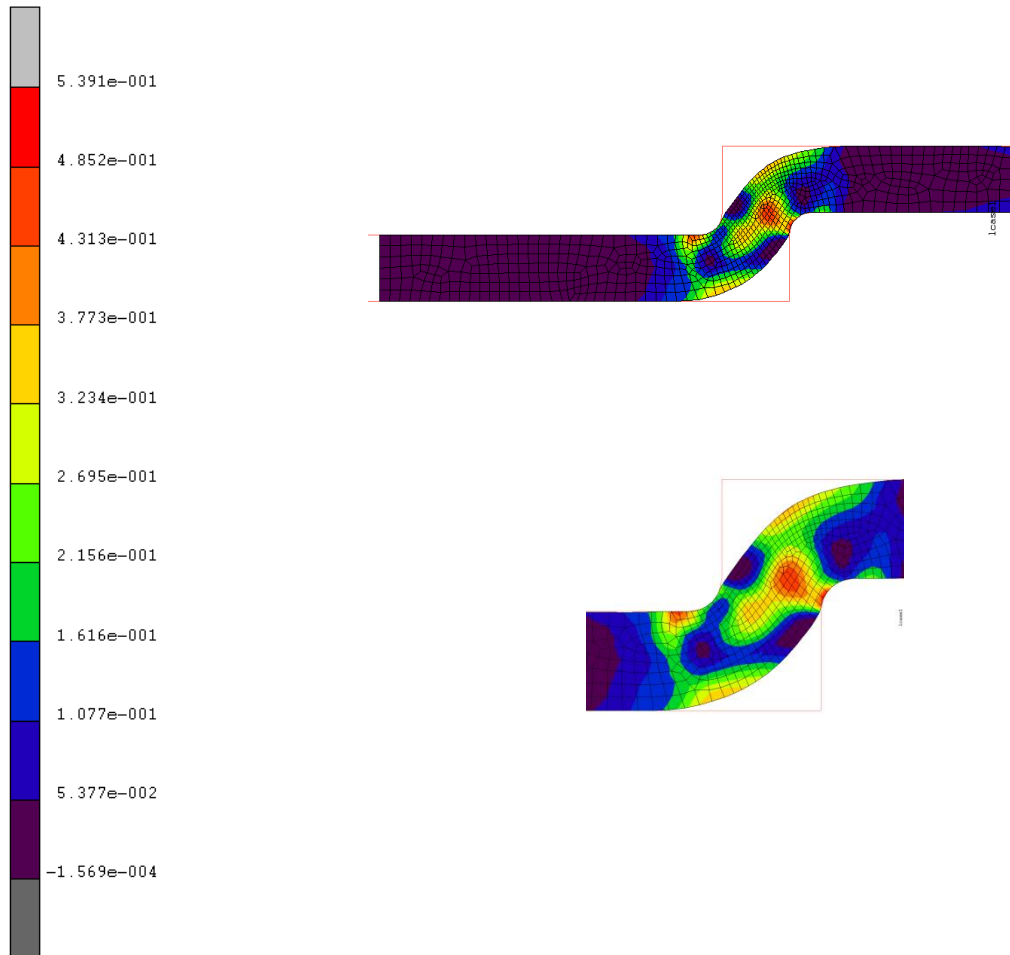


Figura 4.37. M. inferior con radio de acuerdo 1 mm y M. superior con radio de acuerdo 1 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 1 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 2 mm.

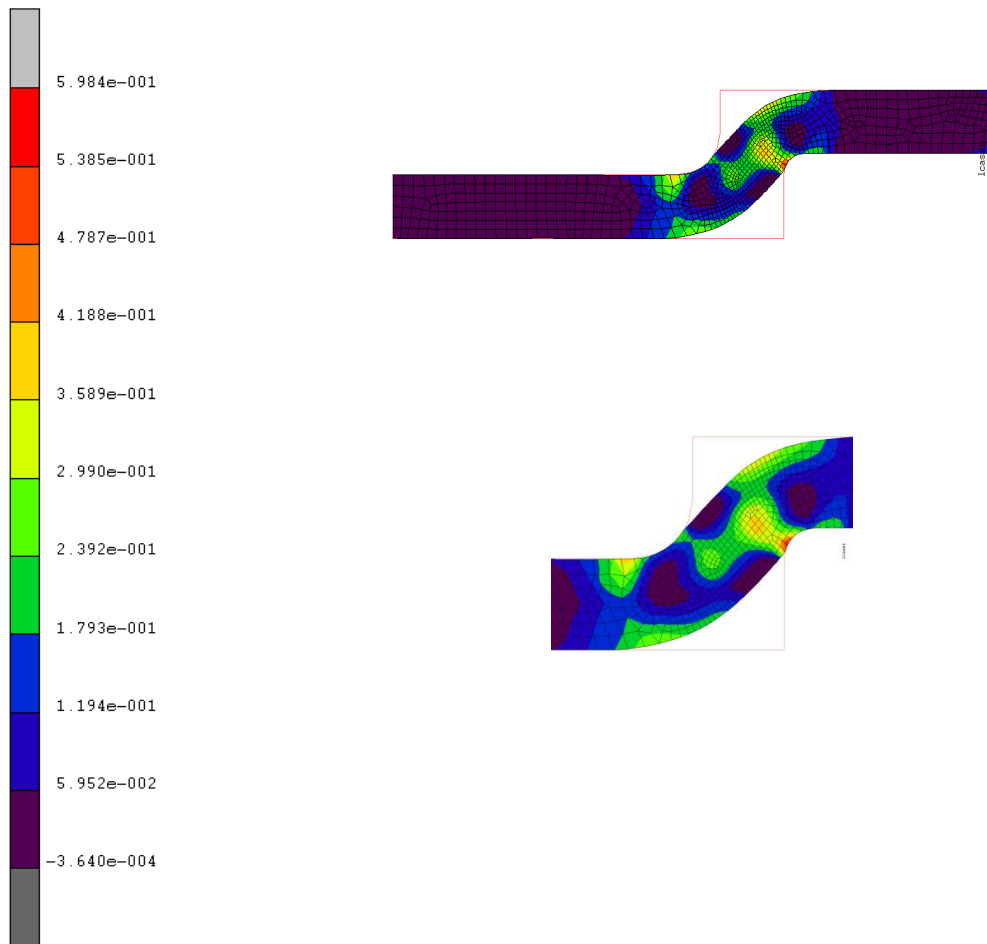


Figura 4.38. M. inferior con radio de acuerdo 1 mm y M. superior con radio de acuerdo 2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 2 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 0,2 mm.

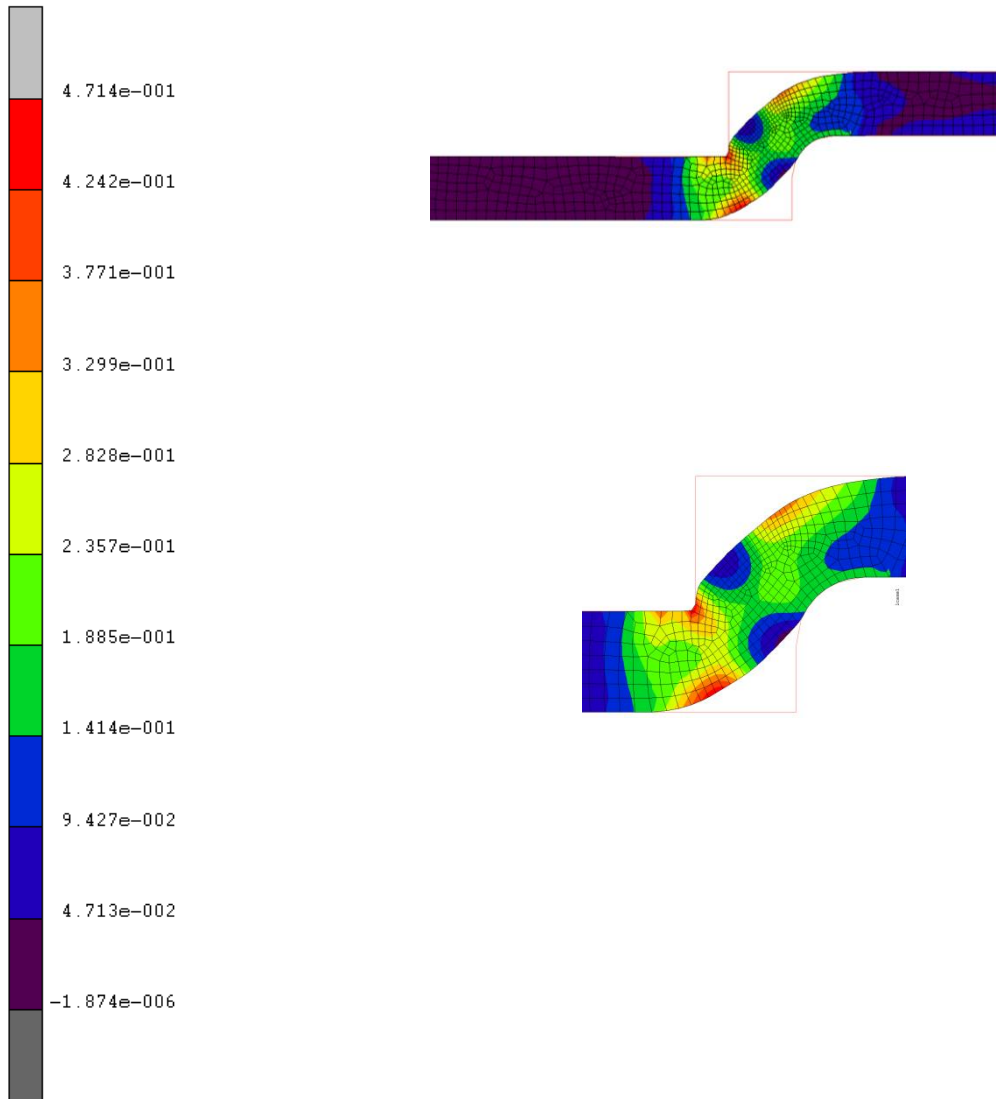


Figura 4.39. M. inferior con radio de acuerdo 2 mm y M. superior con radio de acuerdo 0,2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 2 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 1 mm.

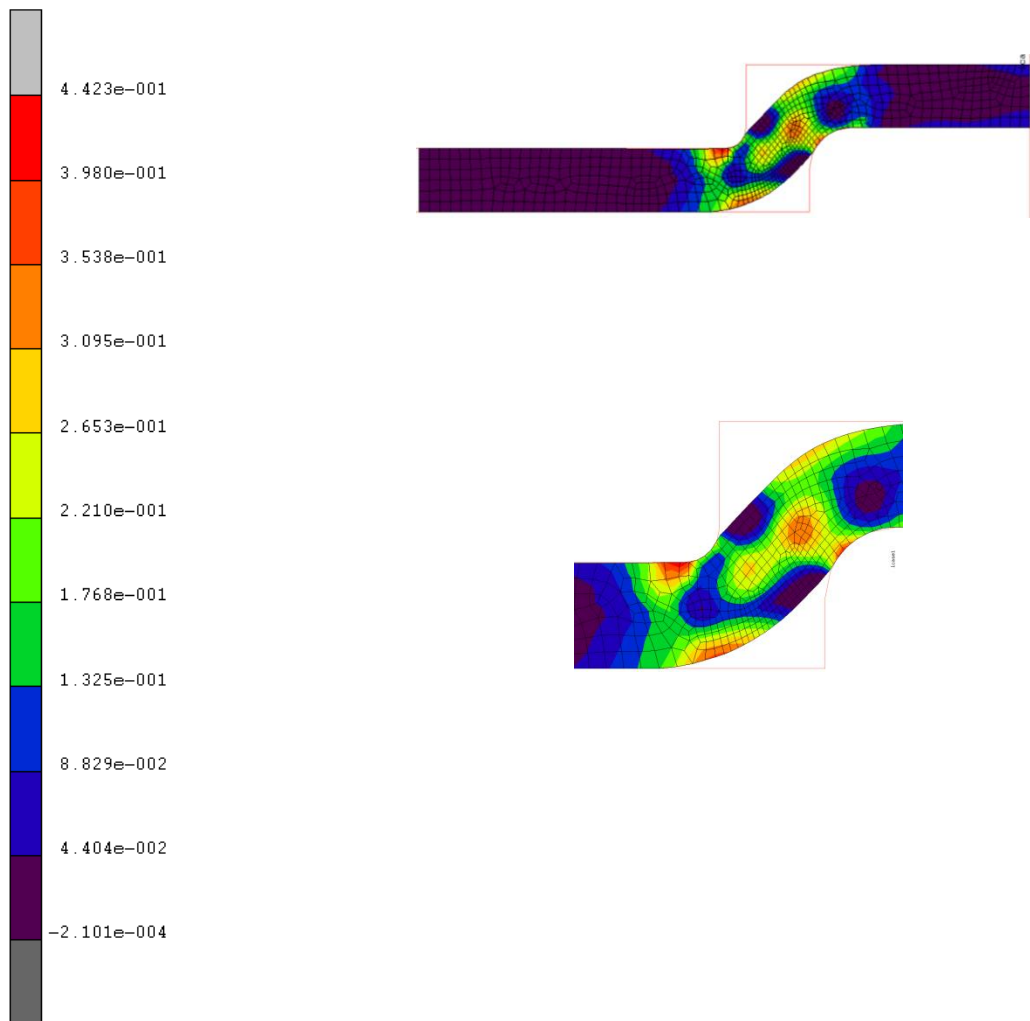


Figura 4.40. M. inferior con radio de acuerdo 2 mm y M. superior con radio de acuerdo 1 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 2 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 2 mm.

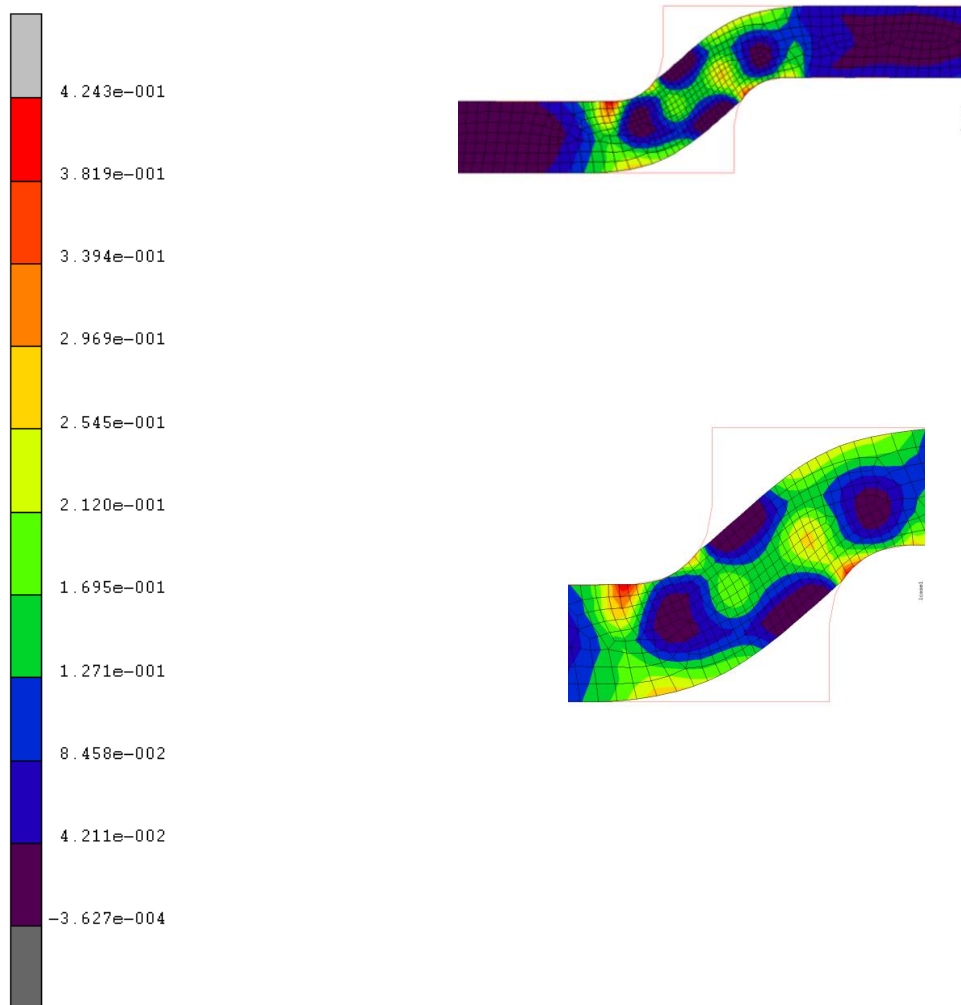


Figura 4.41. M. inferior con radio de acuerdo 2 mm y M. superior con radio de acuerdo 2 mm

En las anteriores imágenes se observan las diferentes deformaciones plásticas que aparecen, según se han ido modificando los radios de acuerdo de la matriz inferior y matriz superior del conjunto.

Los radios de acuerdo de las matrices inferior y superior como se ha dicho antes, varían entre 0,2 mm, 1 mm y 2 mm.

Como se puede observar en las fotografías, los puntos más críticos de la pieza, están en la zona de los radios de acuerdo de las matrices. Esto es debido a que al tener que doblarse la pieza en esos puntos, esta es donde mayores esfuerzos plásticos producen.

Después de analizar por encima los ensayos con los distintos radios de acuerdo, se fija en los valores máximos de cada ensayo, para poder hablar con más criterio sobre nuestro ensayo.

Radio acuerdo (mm)	Valor máx
M. Inf - M. Sup	
0,2 - 0,2	0,5148
0,2 - 1	0,5334
0,2 - 2	0,9429
1 - 0,2	0,5647
1 - 1	0,4313
1 - 2	0,5380
2 - 0,2	0,4242
2 - 1	0,3538
2 - 2	0,3394

Figura 4.42. Tabla con valores máximos de deformación plástica equivalente

Como se ve en la tabla anterior, el mayor valor máximo se alcanza con radio de acuerdo en matriz inferior y superior de 0,2 mm y 2 mm respectivamente, alcanzando un valor de 0,9429. Por otro lado, el valor máximo más pequeño de entre los nueve ensayos realizados, es de 0,3394 con las geometrías en las matrices inferior y superior con radios de acuerdo de 2 mm en ambas. Esto es debido a que cuanto mayor es el radio de acuerdo, menos riesgo de que las matrices penetren en la pieza, produciendo algún tipo de enclavamiento, lo cual da lugar a mayores deformaciones plásticas.

Para concluir con el ensayo de la deformación plástica equivalente “TOTAL EQUIVALENT PLASTIC STRAIN”, se opta por elegir la geometría de con radio de acuerdo en la matriz inferior de 0,2 mm y un radio de acuerdo en la matriz superior de 1 mm, ya que el gradiente que aparece en la pieza, es bastante pequeño y en un solo lugar de la pieza, con un máximo de 0,5334.

Es cierto que hay ensayos en los que el valor máximo es más pequeño que en este ensayo, pero se da que en todos, los valores máximos aparecen en dos o incluso en tres partes de la pieza, por lo que no se quiere forzar la pieza en tantas zonas.

Cabe citar que el ensayo que mayor valor máximo da, como es el de matriz inferior y superior con radios de acuerdo de 0,2 mm y 2 mm

respectivamente, se ha valorado positivamente, ya que el gradiente de deformación plástica es pequeño y la mayoría de la zona de la pieza que más sufre es la única que es bastante homogénea, obteniendo un valor de unos 0,1179. Al final se ha desechado puesto que el valor máximo es bastante considerable en comparación, ya que es casi el doble del ensayo finalmente elegido.

Tensión de von Mises “EQUIVALENT VON MISES STRESS”

A continuación se pasa a observar las tensiones de Von Mises con los diferentes radios de acuerdo como se ha hecho anteriormente, para pasar a observar las distribuciones de tensiones y su punto más crítico en diferentes incrementos durante el proceso de estampado de los orificios laterales.

Matriz inferior con radio de acuerdo 0,2 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 0,2 mm.

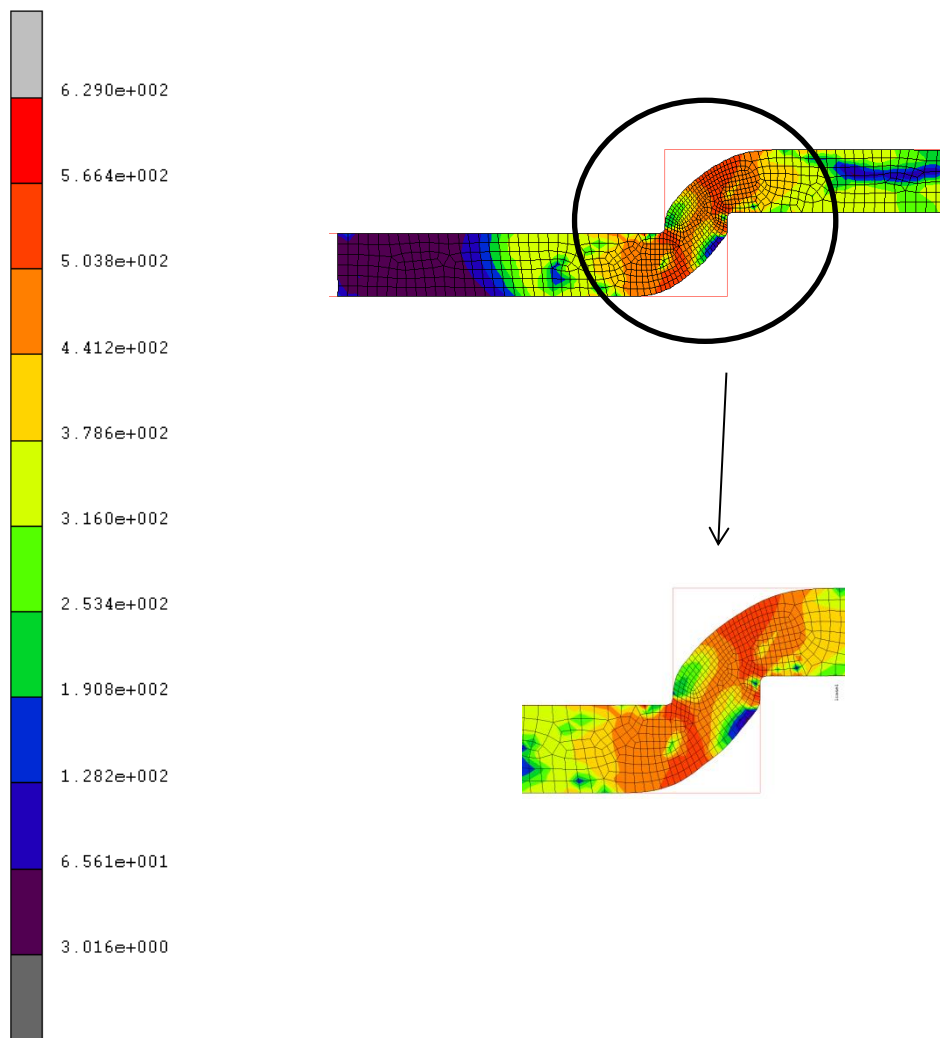


Figura 4.43. M. inferior con radio de 0,2 mm y M. superior con radio de 0,2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 0,2 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 1 mm.

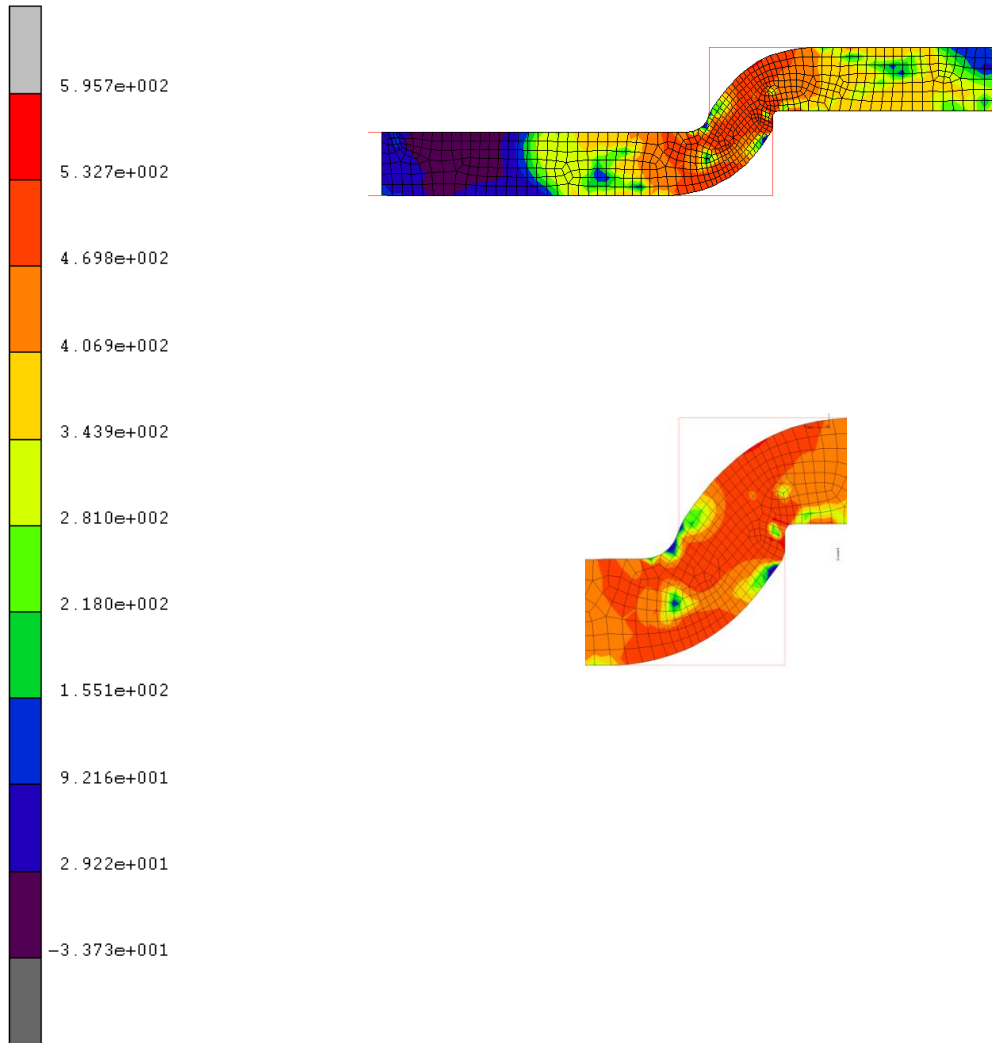


Figura 4.44. M. inferior con radio de acuerdo 0,2 mm y M. superior con radio de acuerdo 1 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 0,2 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 2 mm.

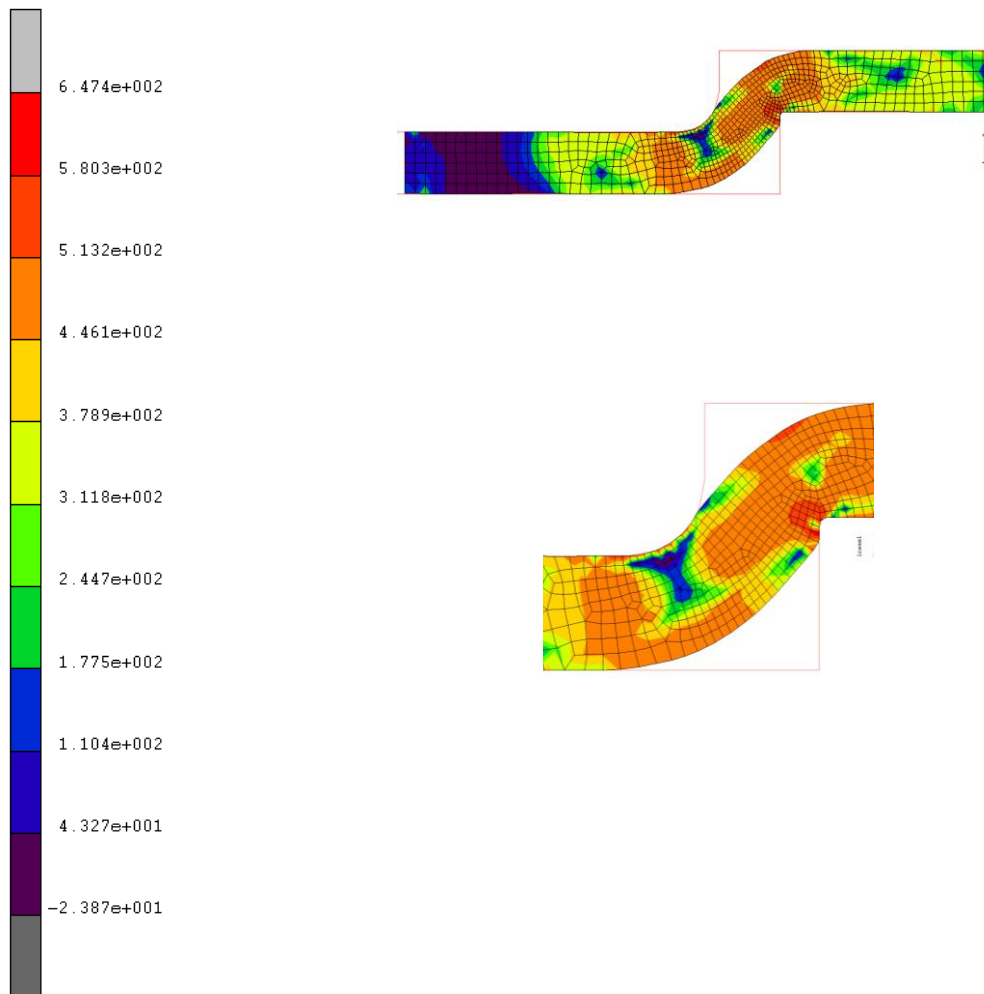


Figura 4.45. M. inferior con radio de acuerdo 0,2mm y M. superior con radio de acuerdo 2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 1 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 0,2 mm.

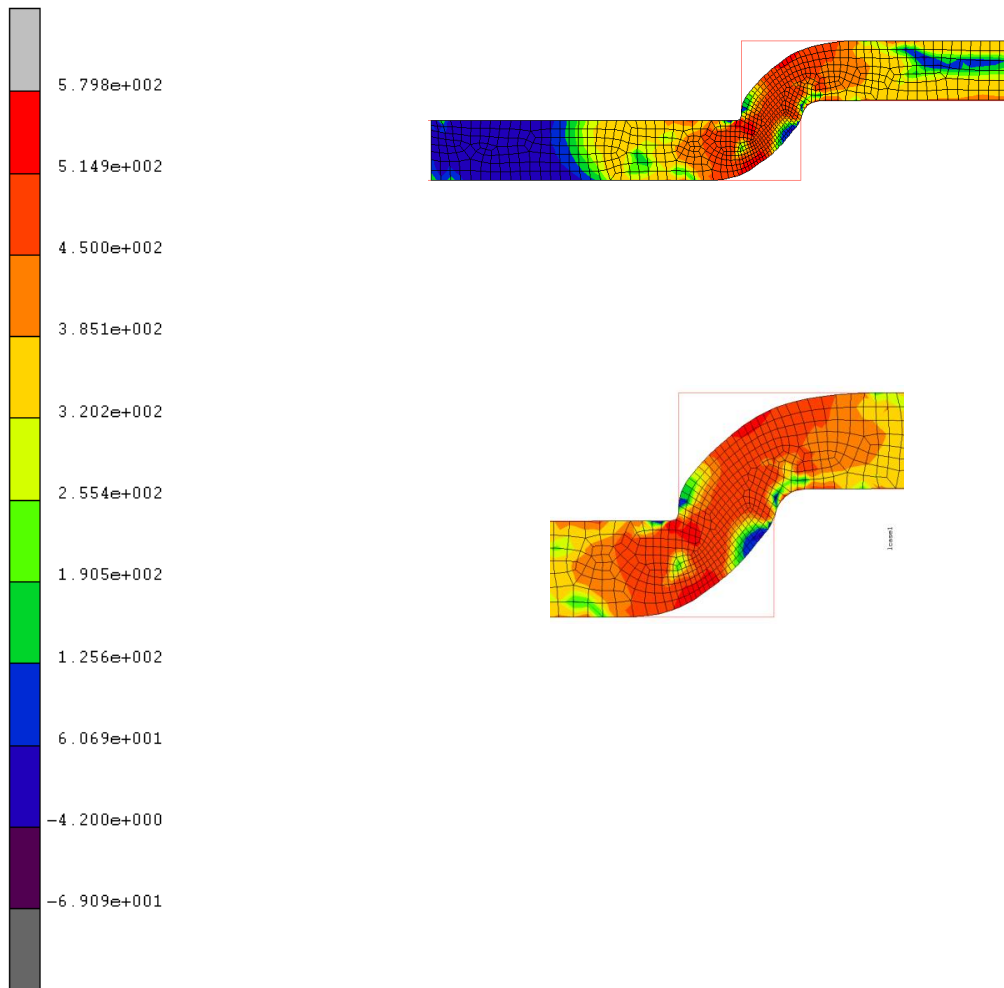


Figura 4.46. M. inferior con radio de acuerdo 1 mm y M. superior con radio de acuerdo 0,2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 1 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 1 mm.

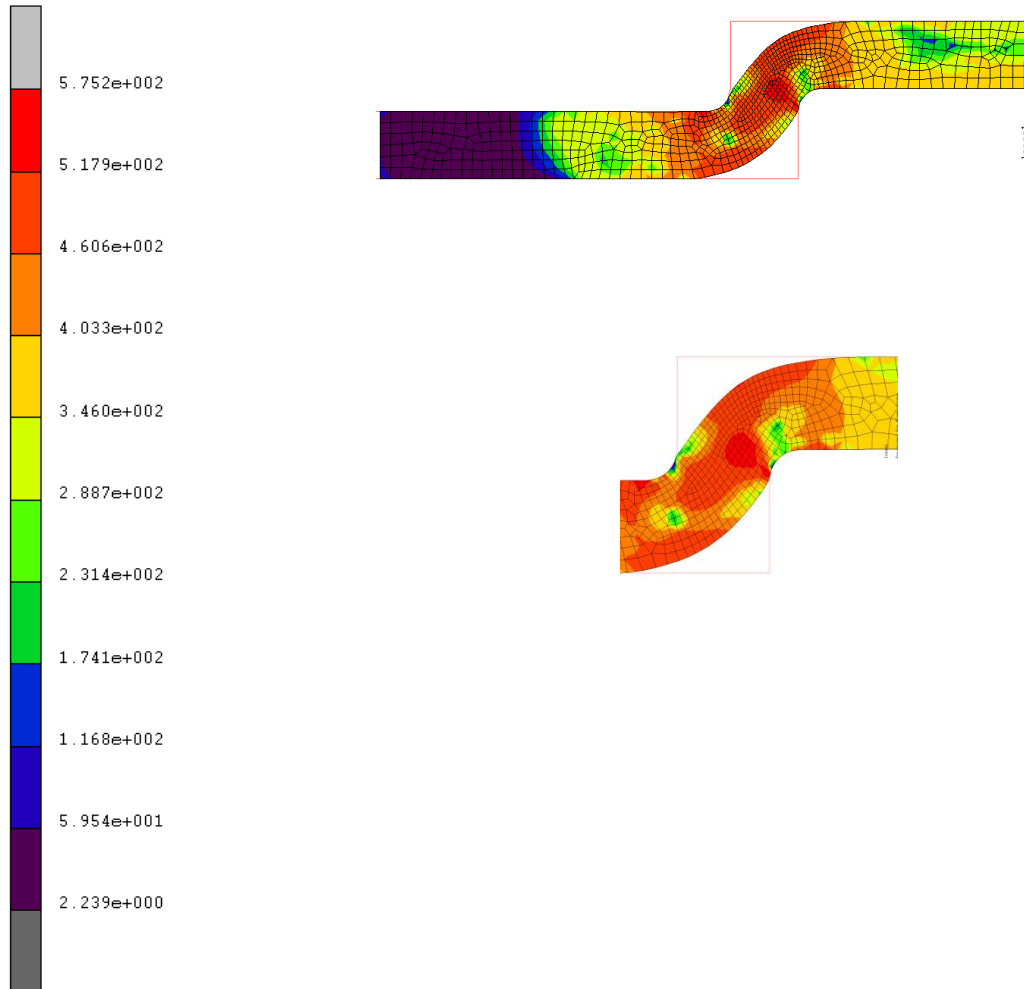


Figura 4.47. M. inferior con radio de acuerdo 1 mm y M. superior con radio de acuerdo 1 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 1 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 2 mm.

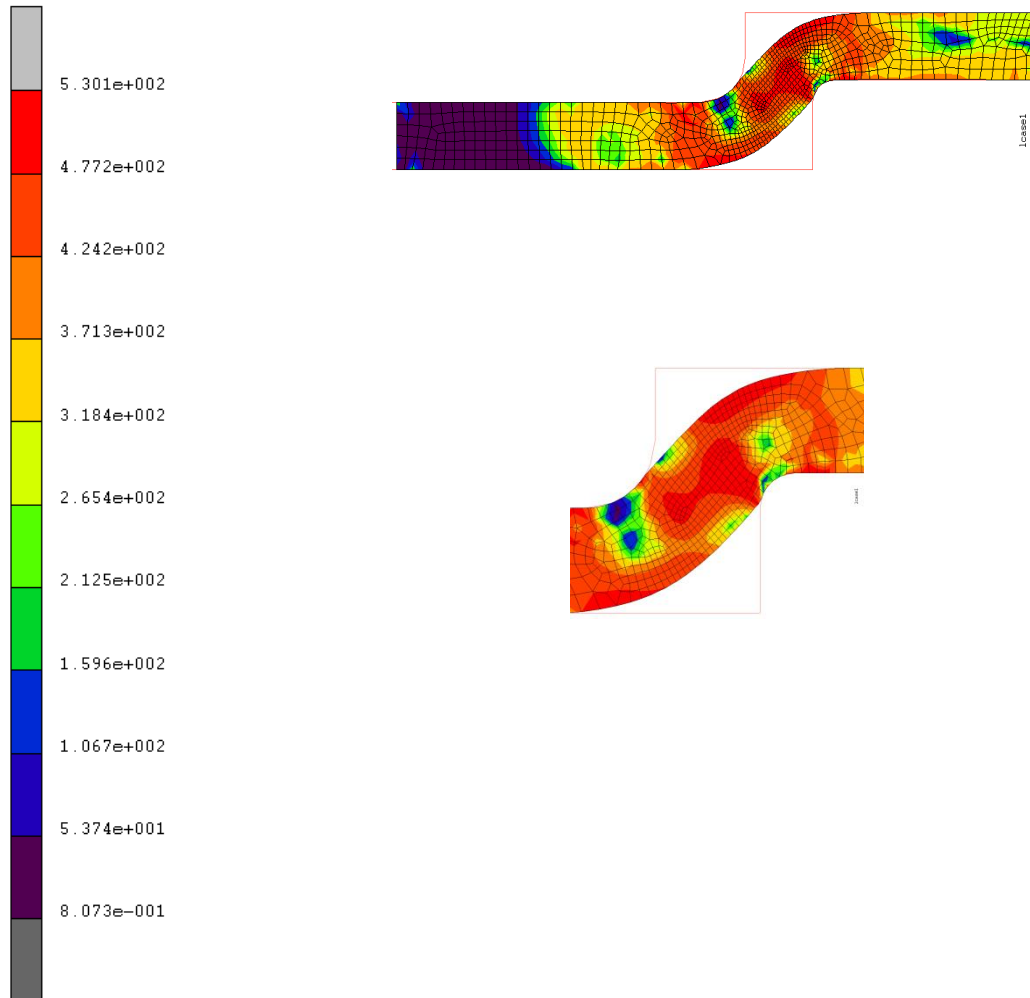


Figura 4.48. M. inferior con radio de acuerdo 1 mm y M. superior con radio de acuerdo 2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 2 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 0,2 mm.

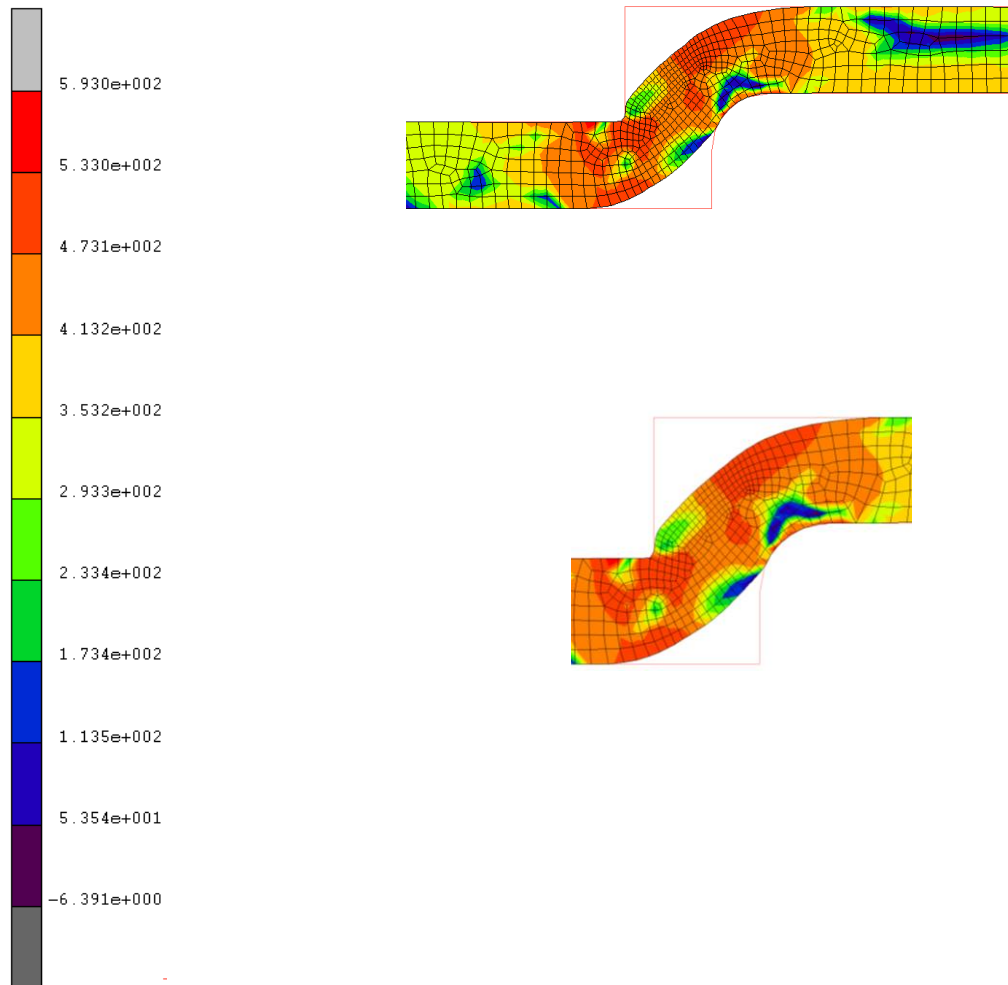


Figura 4.49. M. inferior con radio de acuerdo 2 mm y M. superior con radio de acuerdo 0,2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 2 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 1 mm.

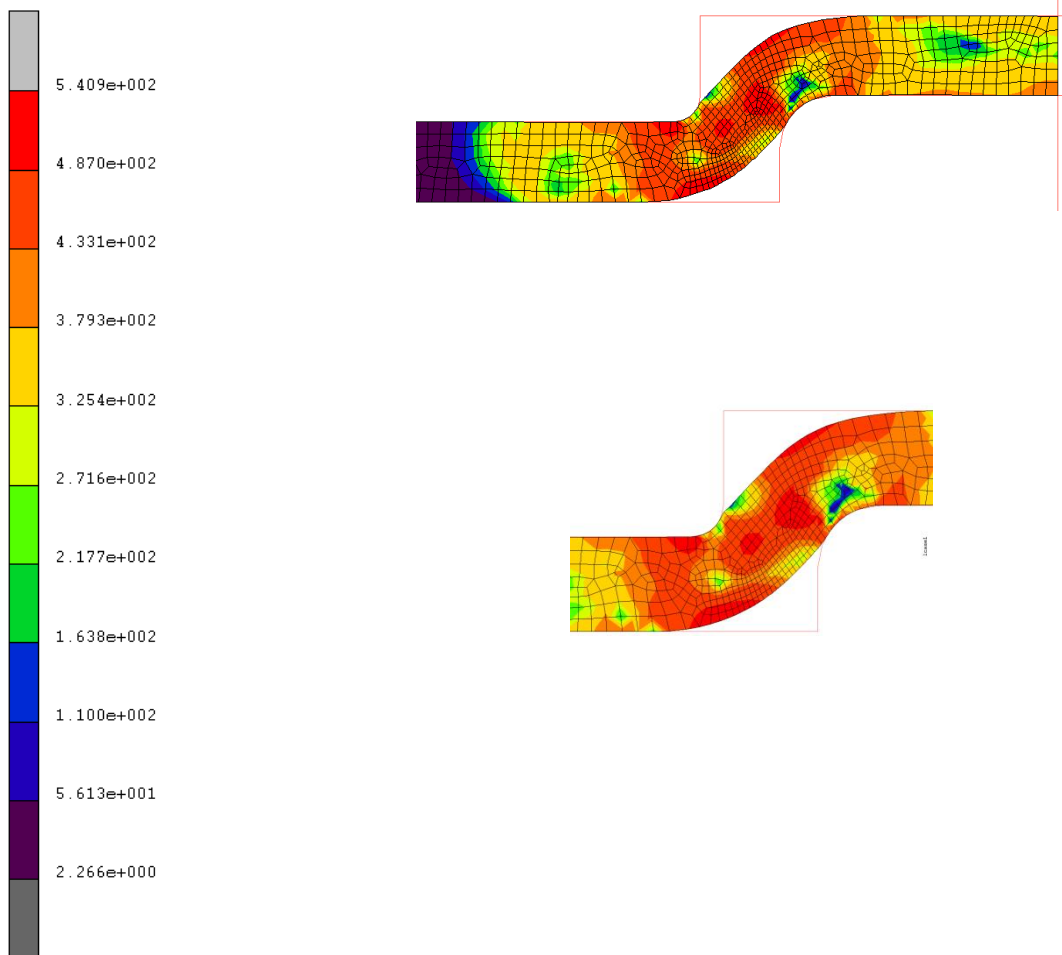


Figura 4.50. M. inferior con radio de acuerdo 2 mm y M. superior con radio de acuerdo 1 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 2 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 2 mm.

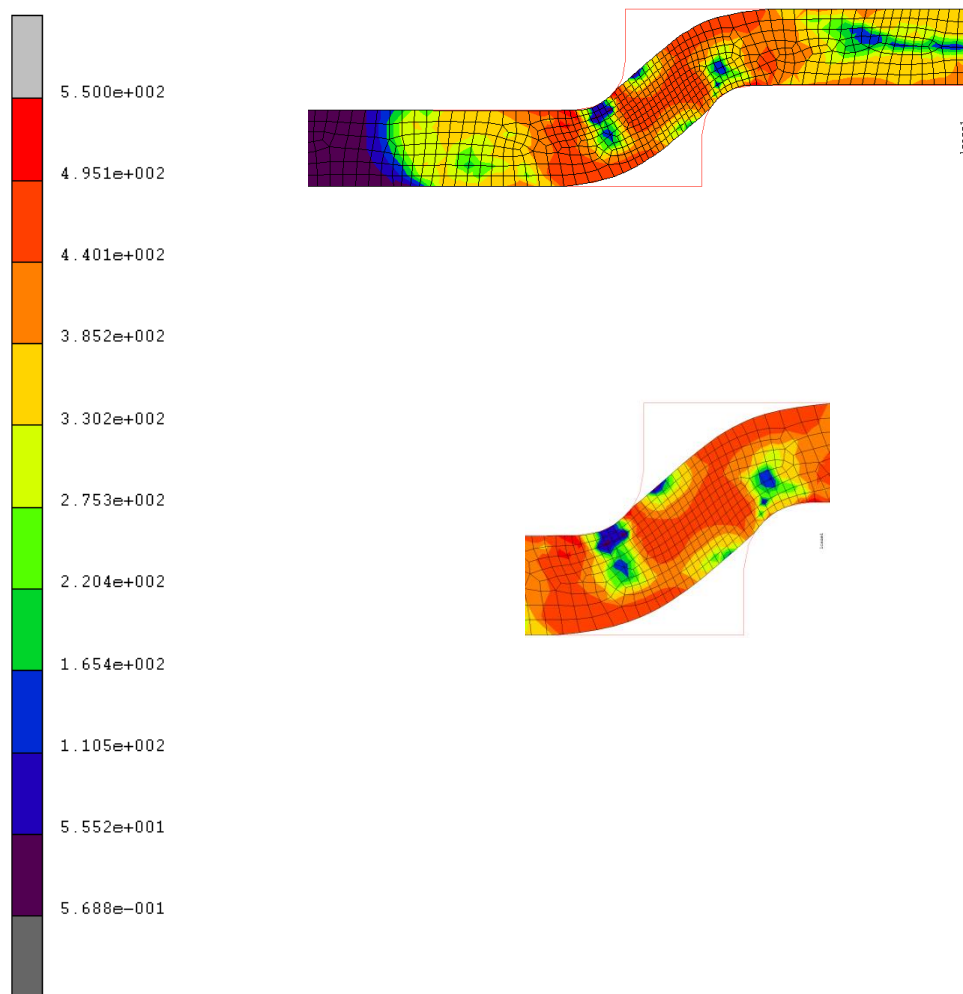


Figura 4.51. M. inferior con radio de acuerdo 2 mm y M. superior con radio de acuerdo 2 mm

Después de ver las imágenes, se puede observar las diferentes tensiones de von Mises que aparecen en la pieza cuando se estampa los orificios laterales.

Como se viene haciendo anteriormente, se procede a realizar una tabla para ver valores máximos de las diferentes tensiones que aparecen en cada ensayo.

Radio acuerdo (mm)	Valor máx (x10 ² MPa)
M. Inf - M. Sup	
0,2 - 0,2	5,664
0,2 - 1	4,698
0,2 - 2	5,132
1 - 0,2	4,500
1 - 1	4,606
1 - 2	4,772
2 - 0,2	4,731
2 - 1	4,870
2 - 2	4,401

Figura 4.52. Tabla de los valores máximos de las tensiones de von mises

Como se ve en la tabla anterior, el mayor valor máximo se alcanza con radio de acuerdo en matriz inferior y superior de 0,2 mm, alcanzando un valor de 566,4 MPa. Por otro lado, el valor máximo más pequeño de entre los nueve ensayos realizados, es de 440,1 MPa con las geometrías en las matrices inferior y superior con radios de acuerdo de 2 mm en ambas.

Después de ver los diferentes ensayos y soluciones que da el programa MarcMentat, se observa que la mayoría de los ensayos derivan a la pieza las mismas tensiones en un intervalo muy pequeño, con lo que se puede jugar con la combinación que más convenga entre los ensayos de la deformación plástica, las tensiones de von mises, y el daño, para que coincidan las geometrías de los diferentes ensayos, y así asegurarnos geometría optima, para la realización final de la pieza.

Por lo tanto, en el ensayo de von Mises, también se decanta por la matriz inferior de radio de acuerdo de 0,2 mm y 1 mm de radio de acuerdo en la matriz superior, puesto que es el ensayo que más homogéneas son las tensiones a lo largo de la pieza y que además de eso, coincide con la geometría de los radios de acuerdo de las matrices en el ensayo realizado de las deformaciones plásticas.

Daño “DAMAGE”

En este apartado, se observa el daño que sufre la pieza en los diferentes ensayos con los diferentes radios de acuerdo en la matriz inferior y matriz inferior como se viene haciendo anteriormente. Se tendrá en cuenta la zona de la pieza que está en contacto con los radios variables, ya que es donde más va a sufrir la pieza.

Matriz inferior con radio de acuerdo 0,2 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 0,2 mm.

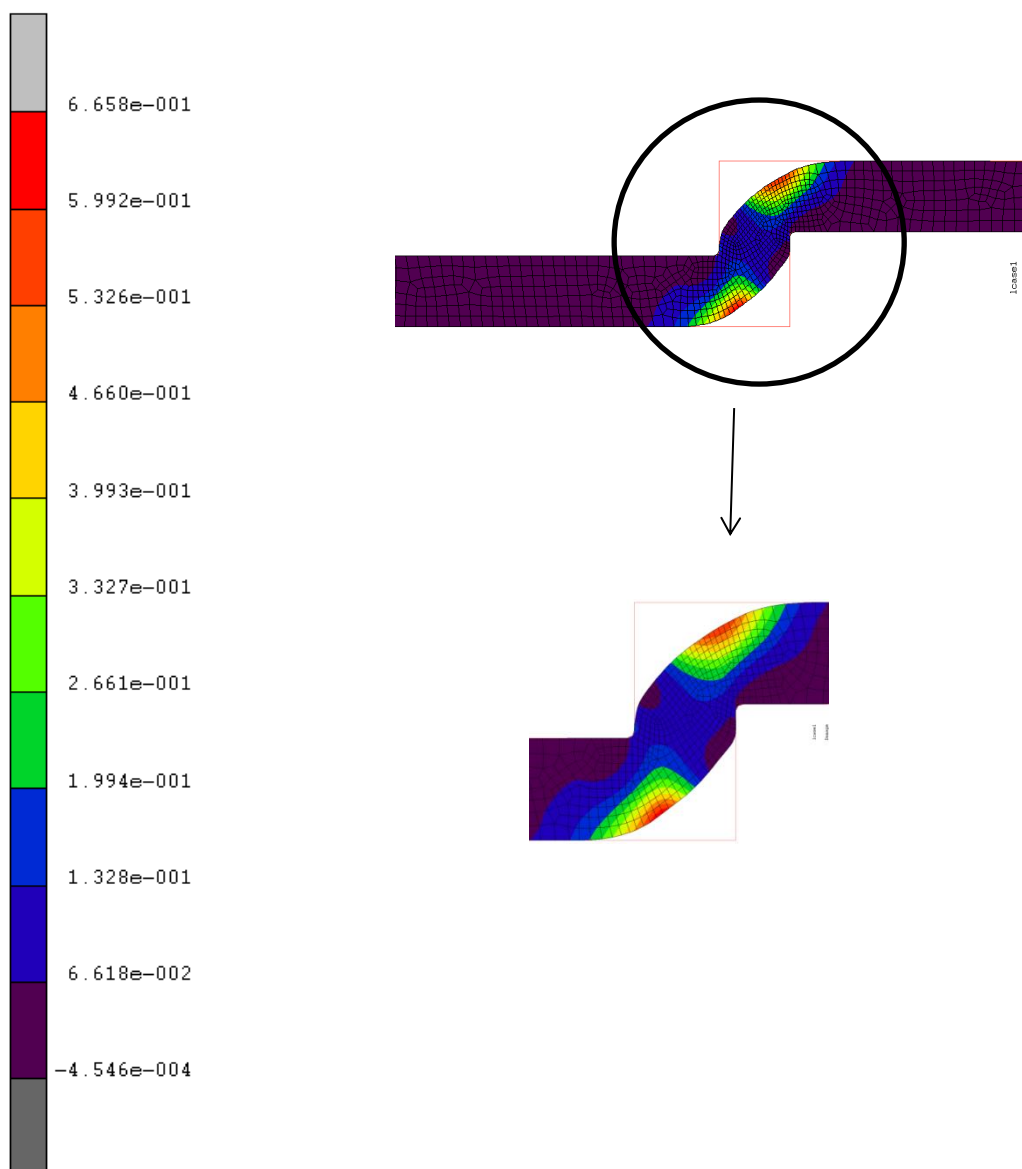


Figura 4.53. M. inferior con radio de 0,2 mm y M. superior con radio de 0,2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 0,2 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 1 mm.

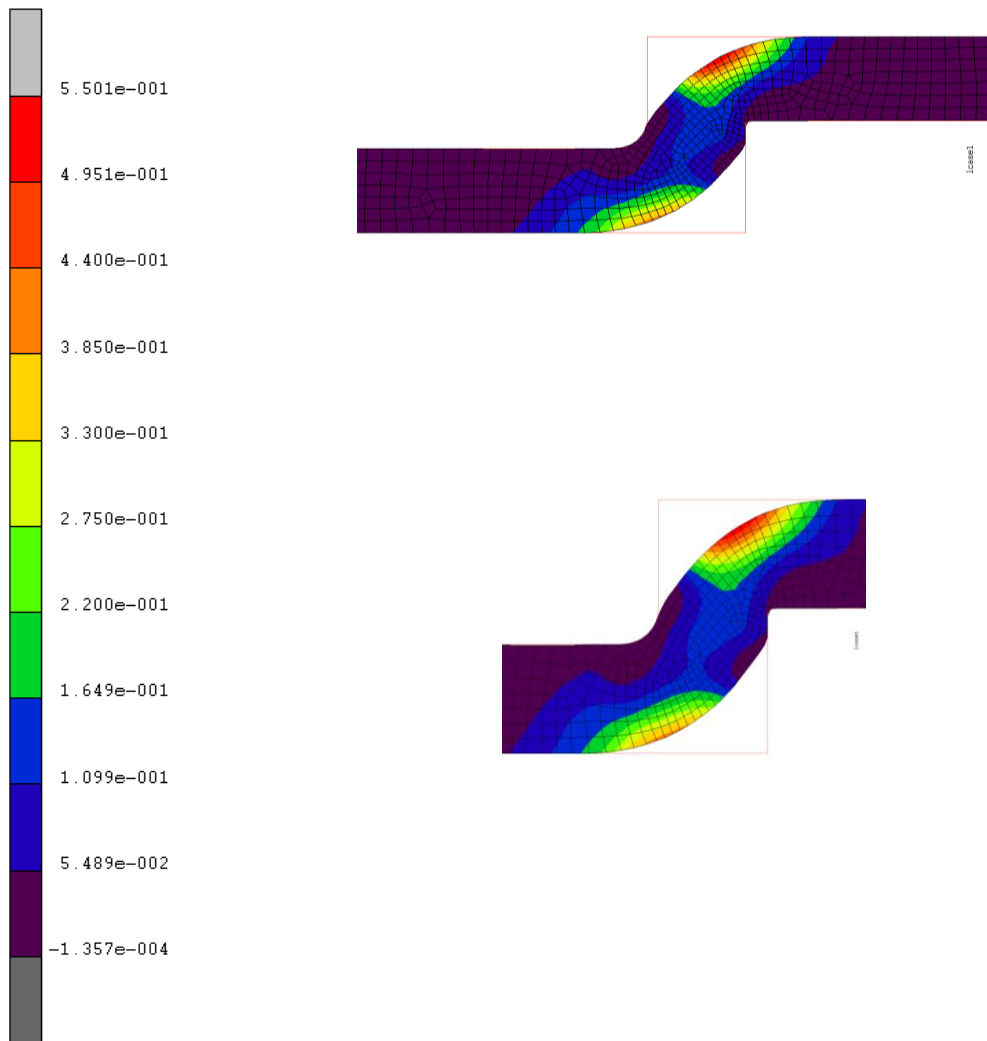


Figura 4.54. M. inferior con radio de acuerdo 0,2 mm y M. superior con radio de acuerdo 1 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 0,2 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 2 mm.

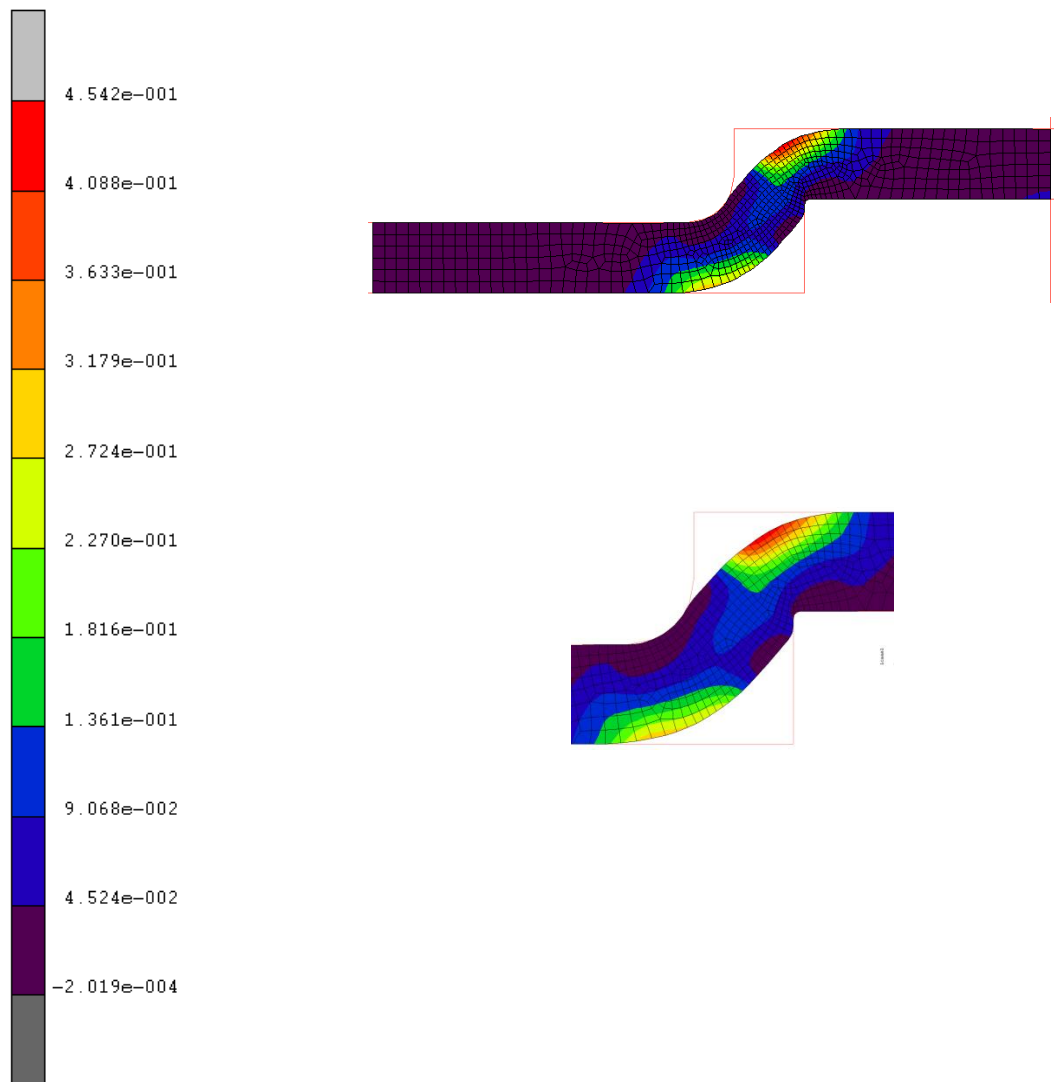


Figura 4.55. M. inferior con radio de acuerdo 0,2 mm y M. superior con radio de acuerdo 2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 1 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 0,2 mm.

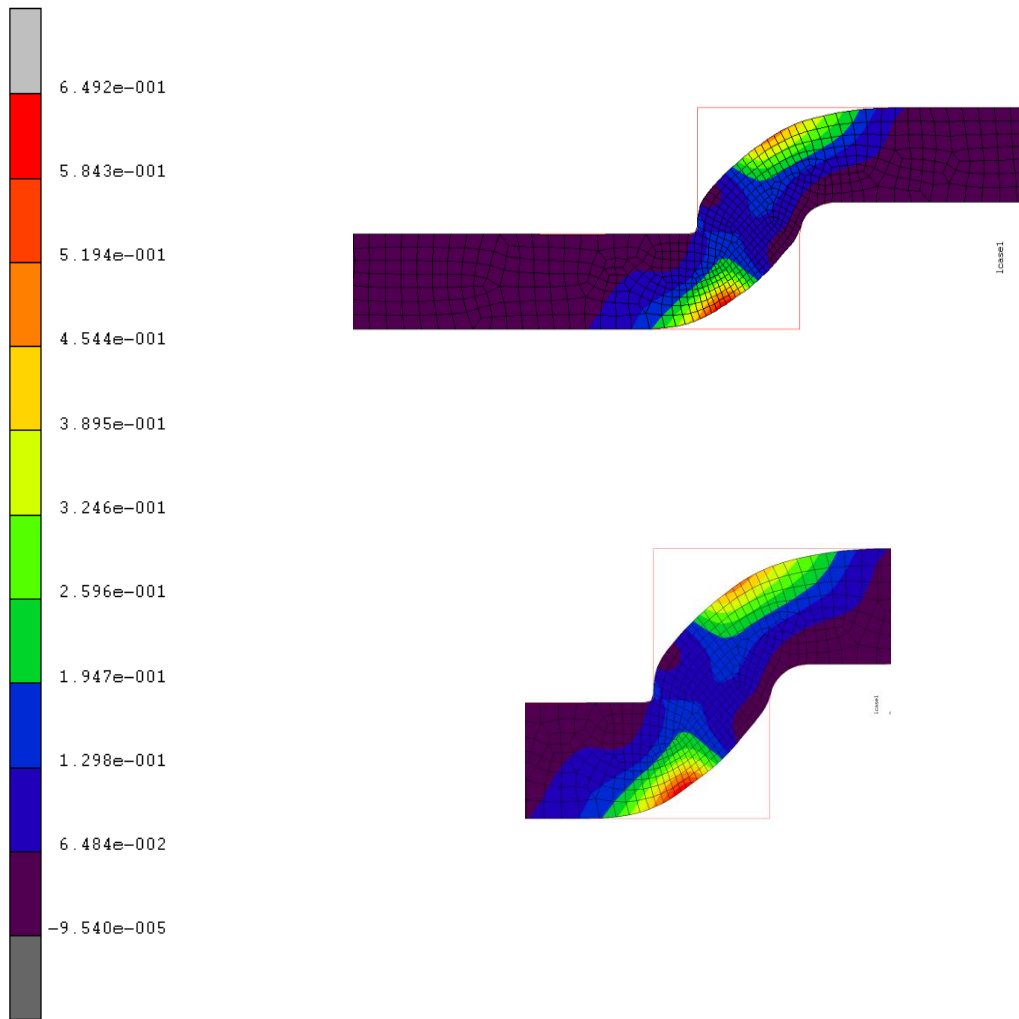


Figura 4.56. M. inferior con radio de acuerdo 1 mm y M. superior con radio de acuerdo 0,2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 1 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 1 mm.

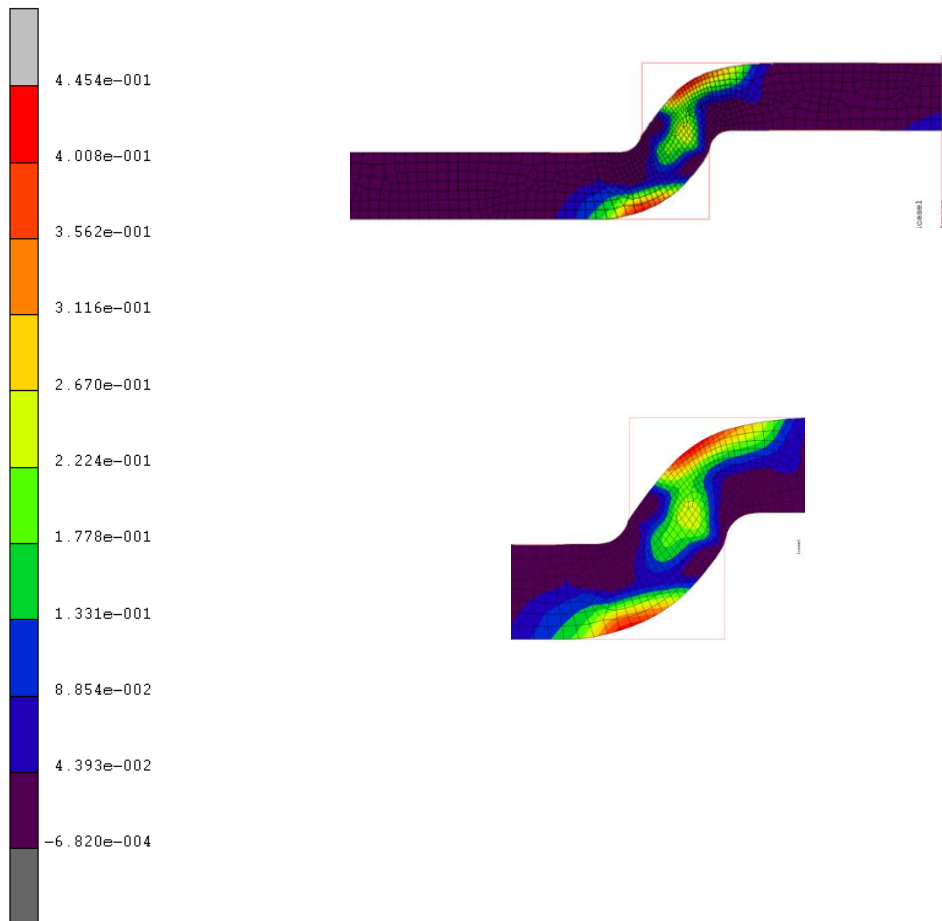


Figura 4.57. M. inferior con radio de acuerdo 1 mm y M. superior con radio de acuerdo 1 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 1 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 2 mm.

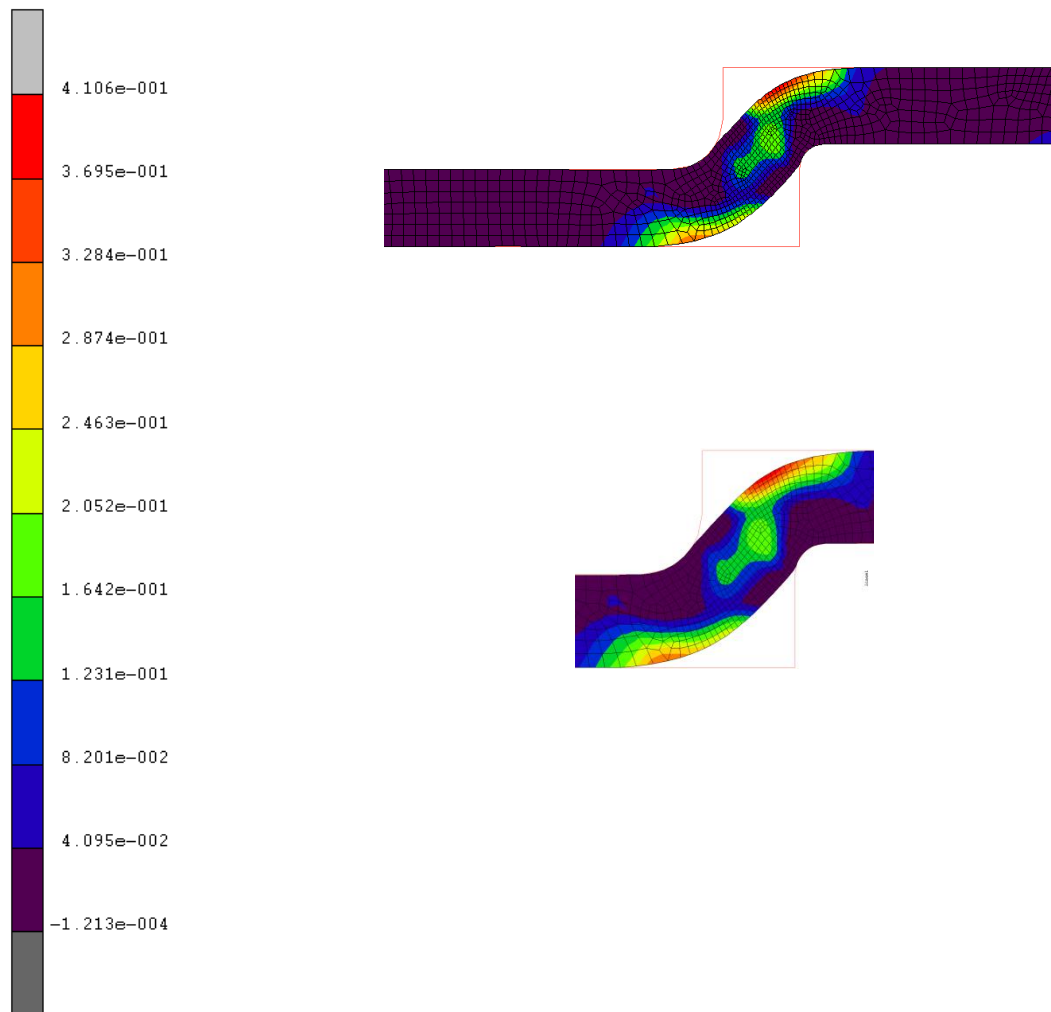


Figura 4.58. M. inferior con radio de acuerdo 1 mm y M. superior con radio de acuerdo 2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 2 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 0,2 mm.

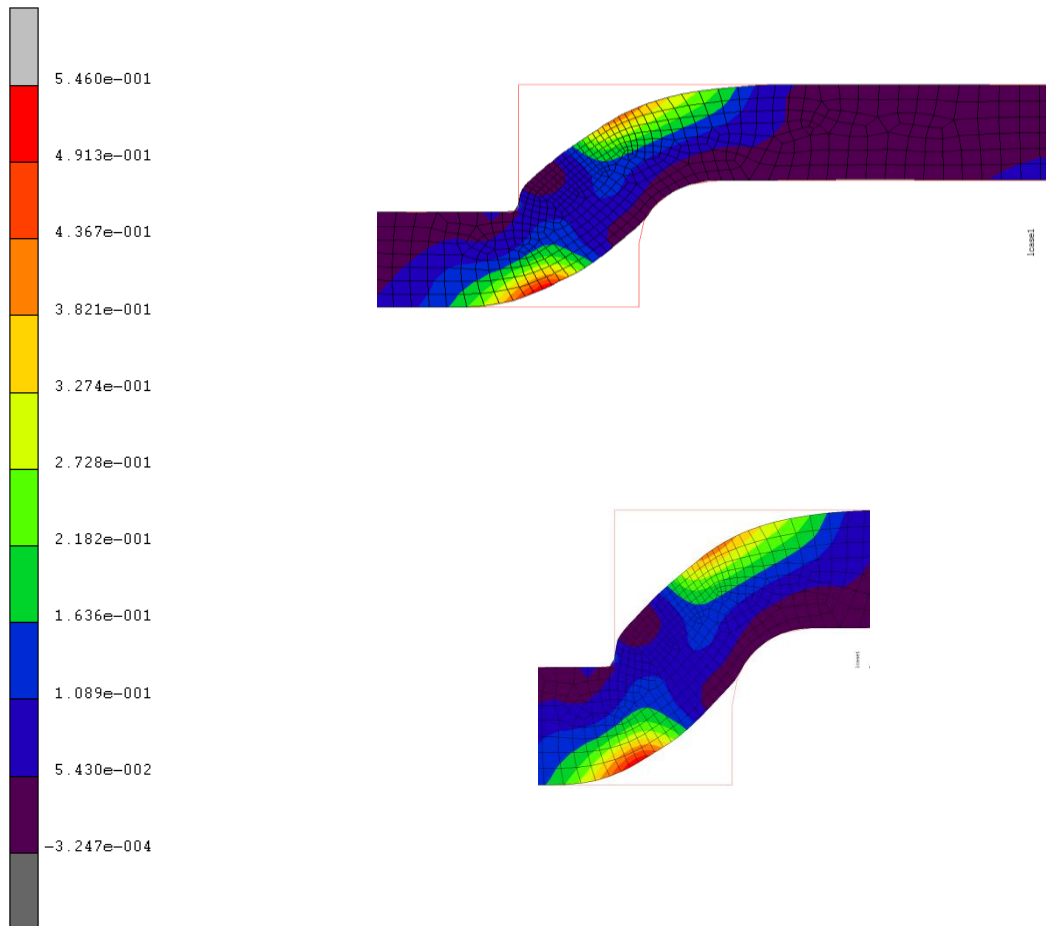


Figura 4.59. M. inferior con radio de acuerdo 2 mm y M. superior con radio de acuerdo 0,2 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 2 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 1 mm.

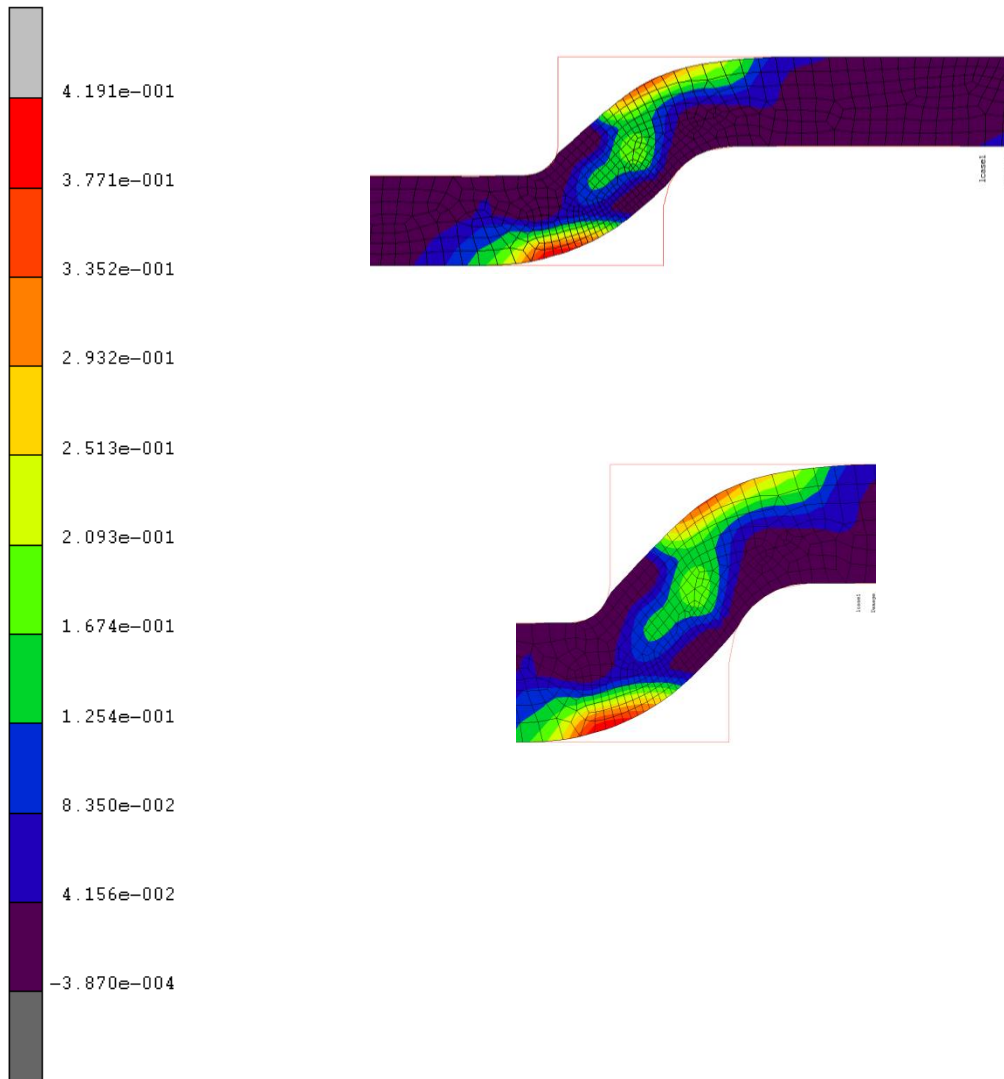


Figura 4.60. M. inferior con radio de acuerdo 2 mm y M. superior con radio de acuerdo 1 mm

Matriz inferior con radio de acuerdo 2 mm y Matriz superior con radio de acuerdo 2 mm.

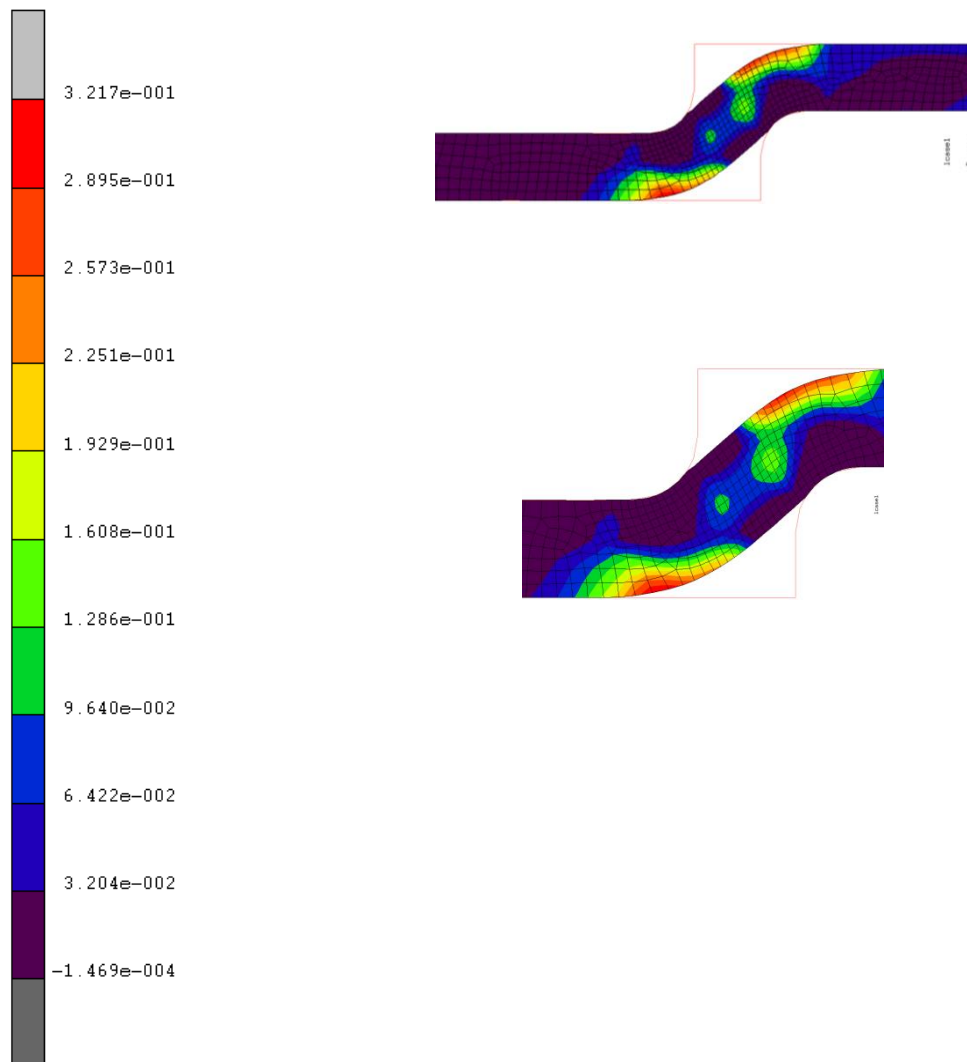


Figura 4.61. M. inferior con radio de acuerdo 2 mm y M. superior con radio de acuerdo 2 mm

Después de haber hecho las 9 simulaciones de la estampación de los orificios laterales, se centra en el tercer ensayo que en este caso trata del daño que va a sufrir la pieza en sus puntos más característicos “DAMAGE”.

Una vez realizados los ensayos, se pasa a estudiar “objetivamente” los resultados obtenidos con datos numéricos que el programa nos proporciona.

Se puede observar en las figuras obtenidas con cada ensayo, en el que los puntos más característicos por donde sufre la pieza, son en las dos curvaturas por el lado de la pieza que se expone a tracción, dicho más vulgarmente, se puede decir, que la pieza sufre más, por el lado de las fibras

que son estiradas y no contraídas al amoldarse al tipo de curvatura que las matrices estipulan.

Para la elección de la geometría óptima, se fijará en los valores máximos que alcanza la pieza en los puntos críticos, y en la zona o gradiente de dicho valor máximo, ya que en unos pueden ser más pequeños y en otros se puede alargar más a lo largo de las fibras traccionadas.

Después de haber visto por encima las fotos sobre el ensayo de “DAMAGE”, se puede observar claramente, que en cada ensayo, a menor radio de acuerdo entre matrices, superior e inferior, mayor daño sufre la curvatura que dicho radio ejerce sobre la pieza.

Como se viene haciendo, se va a pasar a realizar la tabla de valores máximos que sufre la pieza conforme al daño, a partir de ahí y fijándose en el gradiente de cada simulación, se procederá a la elección de la geometría óptima para el proyecto.

Radio acuerdo (mm)	Valor máx ($\times 10^{-1}$)
M. Inf - M. Sup	
0,2 - 0,2	5,992
0,2 - 1	4,400
0,2 - 2	3,633
1 - 0,2	5,194
1 - 1	3,562
1 - 2	3,284
2 - 0,2	4,367
2 - 1	3,352
2 - 2	2,573

Figura 4.62. Tabla de los valores máximos de daño en la pieza

Como era de esperar, la simulación con radios de acuerdo en la matriz superior e inferior de 2 mm, es el que menos daño ejerce sobre la pieza con un valor de $2,573 \times 10^{-1}$. Pero ya se sabe que por intentar ceñirse lo más posible al plano que se proporciona, se va a pasar a estudiar las diferentes simulaciones con el fin de obtener la que más se adapte a la pieza deseada, jugando con los valores máximos y gradientes expresados en las ilustraciones.

Los valores más pequeños que proporciona la tabla claramente son los que tienen radio de acuerdo entre 1 mm y 2 mm, esto es debido a lo ya

comentado anteriormente. No sería del todo malo elegir dichas geometrías, puesto que cuanto menor daño se ejerza a la pieza, menor riesgo de problema futuros. También se ve que en la simulación de radio de acuerdo en la matriz inferior de 0,2 mm y 2 mm en la matriz superior, el daño que se obtiene en la pieza, es del valor de $3,633 \times 10^{-1}$. Dicha simulación sería la más óptima, pero no se debe olvidar los resultados obtenidos en los ensayos de la deformación plástica y la tensión de von mises en la que coincide que las geometrías óptimas son las que tienen radios de acuerdo inferior y superior de 0,2 mm y 1 mm respectivamente. Esto nos obliga a tener en cuenta el valor de daño que nos da con esa geometría para poder valorar si sería arriesgado o no anteponerlo a la geometría óptima en este caso.

Con radio de acuerdo en matriz inferior de 0,2 mm y radio de acuerdo en la matriz superior de 1 mm nos da un valor de $4,400 \times 10^{-1}$. También se puede valorar que esta geometría se adapta mejor a la pieza deseada, lo cual a veces hay que correr algún riesgo para encuadrar todos los enfoques estudiados. Este valor máximo de daño no representa riesgo en la fabricación de la pieza.

Fuerza que ejerce la matriz superior

En el siguiente apartado, se va a reflejar la fuerza que ejerce la matriz superior sobre la pieza. Se mide en Newton.

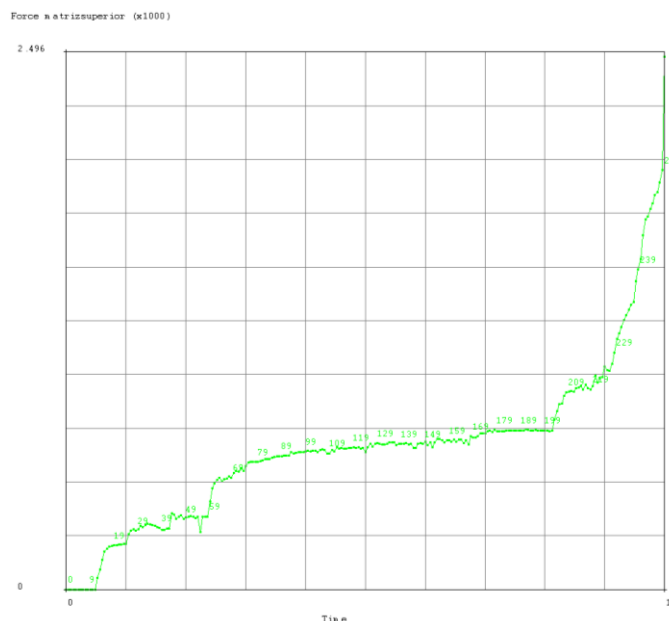


Figura 4.63. M. inferior con radio de 0,2 mm y M. superior con radio de 0,2 mm

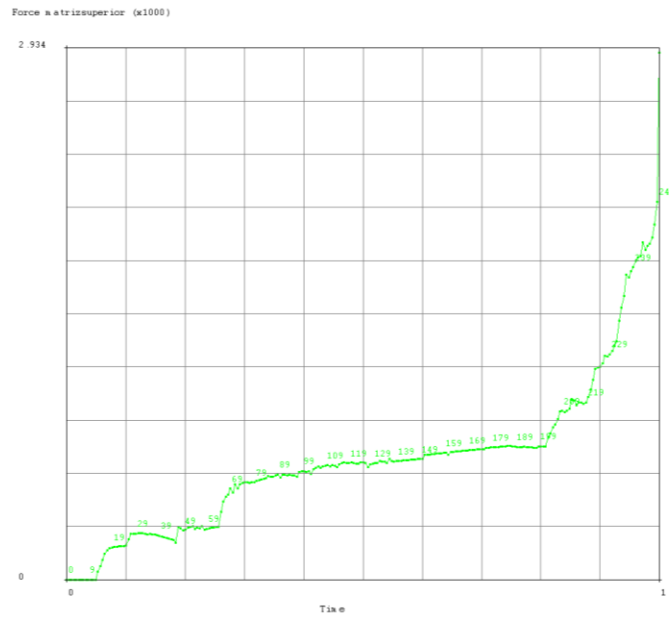


Figura 4.64. M. inferior con radio de acuerdo 0,2 mm y M. superior con radio de acuerdo 1 mm

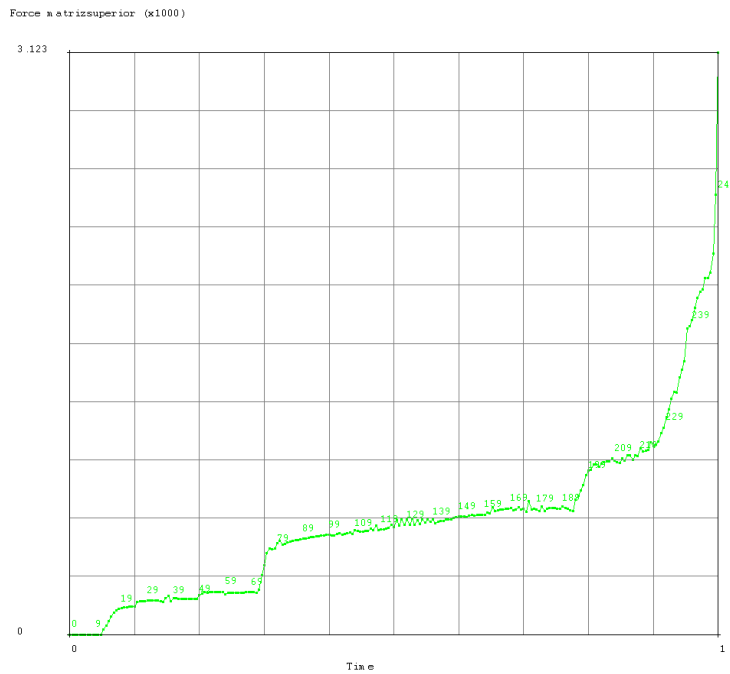


Figura 4.65. M. inferior con radio de acuerdo 0,2 mm y M. superior con radio de acuerdo 2 mm

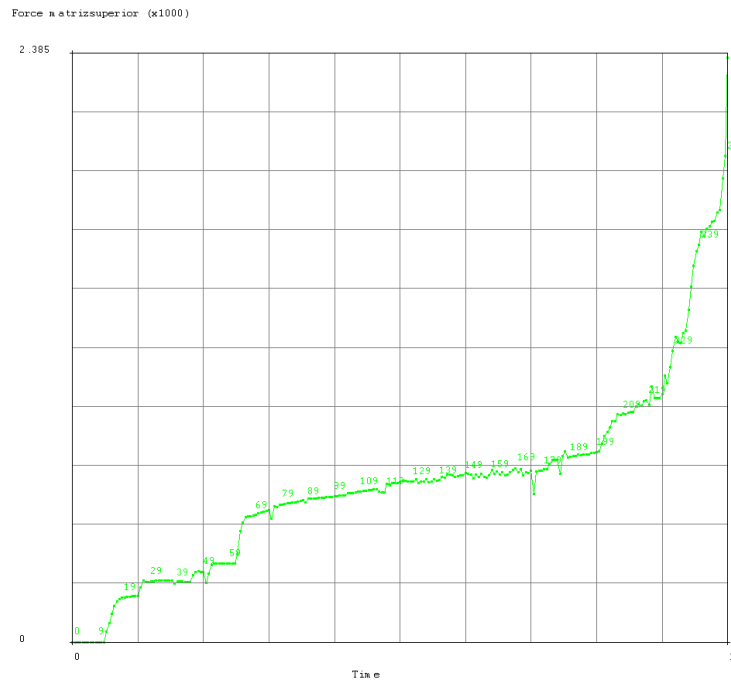


Figura 4.66. M. inferior con radio de acuerdo 1 mm y M. superior con radio de acuerdo 0,2 mm

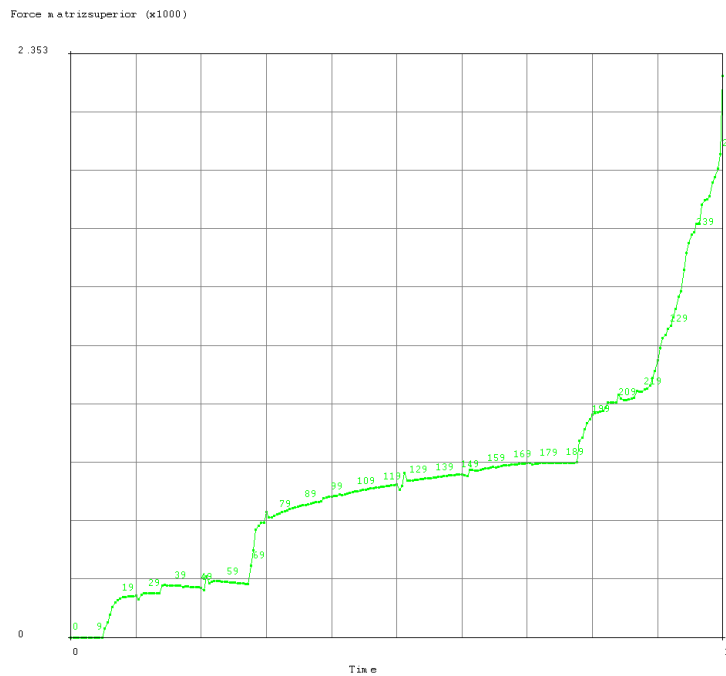


Figura 4.67. M. inferior con radio de acuerdo 1 mm y M. superior con radio de acuerdo 1 mm

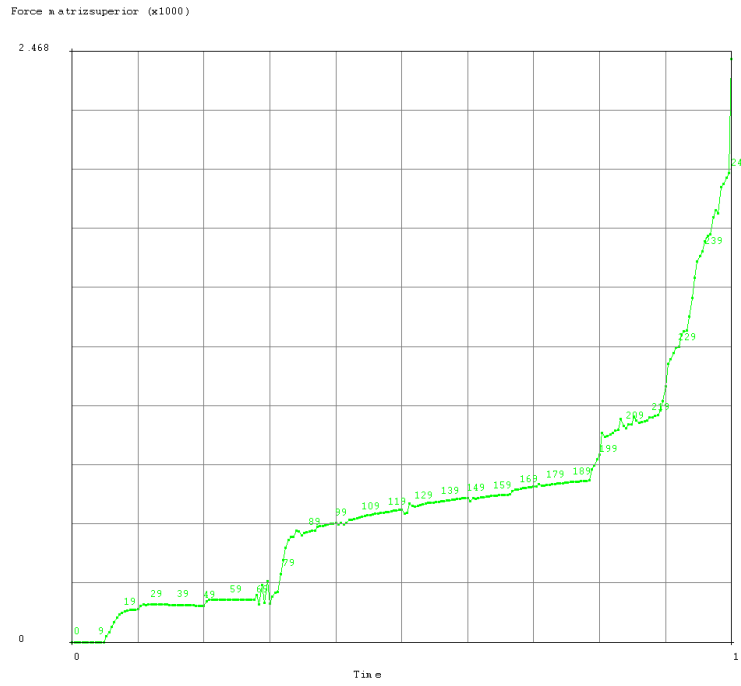


Figura 4.68. M. inferior con radio de acuerdo 1 mm y M. superior con radio de acuerdo 2 mm

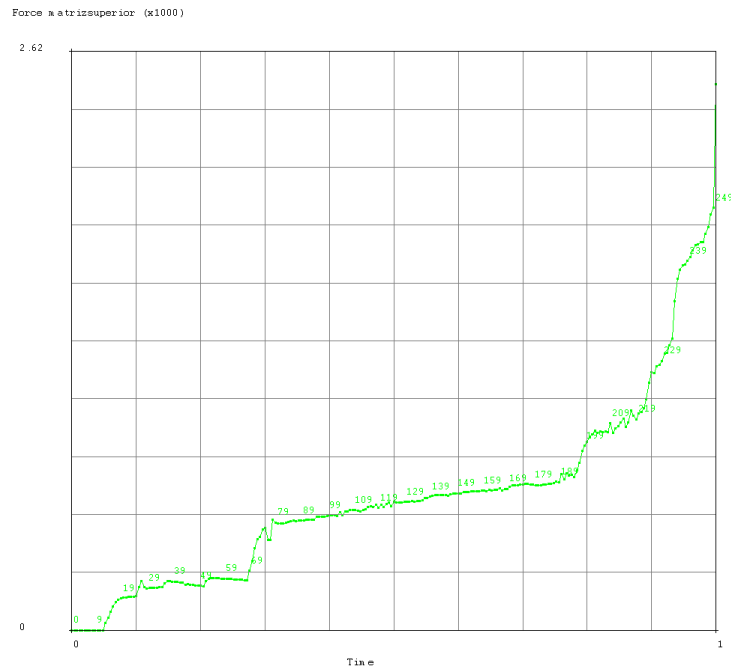


Figura 4.69. M. inferior con radio de acuerdo 2 mm y M. superior con radio de acuerdo 0,2 mm

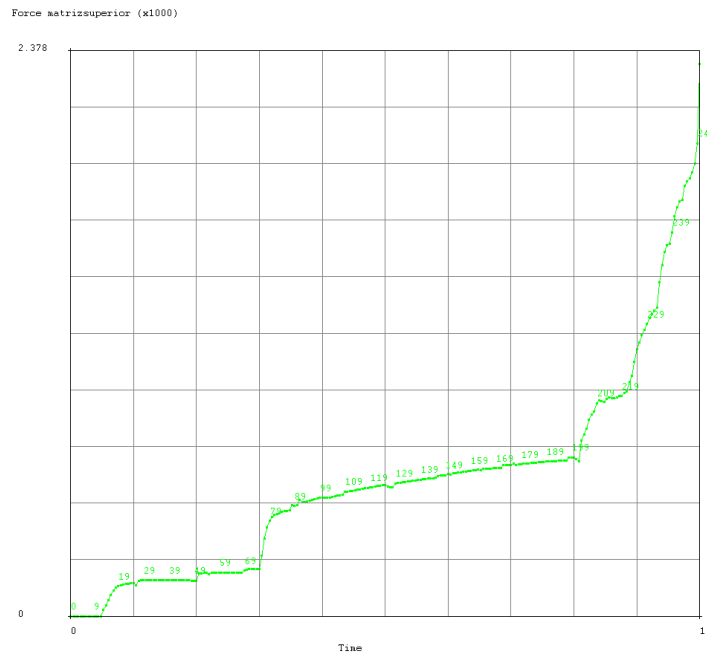


Figura 4.70. M. inferior con radio de acuerdo 2 mm y M. superior con radio de acuerdo 1 mm

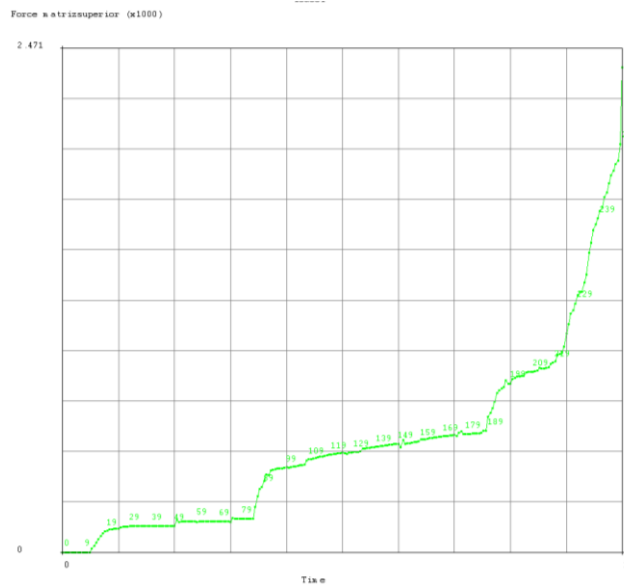


Figura 4.71. M. inferior con radio de acuerdo 2 mm y M. superior con radio de acuerdo 2 mm

En la siguiente tabla se exponen los valores máximos que alcanza la matriz superior en el proceso de estampación de los orificios laterales.

Radio acuerdo (mm)	Valor máx ($\times 10^3$ N)
M. Inf - M. Sup	
0,2 - 0,2	2,496
0,2 - 1	2,934
0,2 - 2	3,123
1 - 0,2	2,385
1 - 1	2,353
1 - 2	2,468
2 - 0,2	2,620
2 - 1	2,378
2 - 2	2,471

Figura 4.72. Tabla de valores máximos

Como se puede observar, todos los gráficos tienen una forma similar, lo cual nos indica se fijará en los valores máximos para terminar de decidir que ensayo es el óptimo.

Al observar los valores máximos, se puede ver que el valor más pequeño es con radio de acuerdo en matriz inferior e superior, de 1 mm y 1 mm. Se puede guiar por estos datos aunque son muy parecidos y no debería haber ningún tipo de problema en elegir cualquiera si se guía por la fuerza que ejerce la matriz superior.

Conclusiones sobre estampado de los orificios laterales

Para concluir con el ensayo de estampado de los orificios laterales, se va a pasar a juntar las ideas de los distintos ensayos.

Como se ha visto en el ensayo de deformación plástica equivalente “TOTAL EQUIVALENT PLASTIC STRAIN”, la geometría más óptima que se le puede dar a la pieza es la radio de acuerdo en la matriz inferior de 0,2 mm y radio de acuerdo en la matriz superior de 1 mm ya que el gradiente que aparece en la pieza, es bastante pequeño y en un solo lugar de la pieza.

En el ensayo de tensión de von mises “EQUIVALENT VON MISES STRESS” también se ha optado por elegir esa geometría puesto que es el

ensayo que más homogéneas son las tensiones a lo largo de la pieza y que además de eso, coincide con la geometría de los radios de acuerdo de las matrices en el ensayo realizado de las deformaciones plásticas.

Por último, a pesar de que la geometría óptima es la de radio de acuerdo en matriz inferior de 0,2 mm y 2 mm en la matriz superior con un valor de 3,633. Se opta también por valorar la geometría óptima de los otros ensayos, dando un valor en este caso de 4,400. La diferencia entre la óptima y la que en teoría coincide con las otras geometrías es mínima. Además las fuerzas que ejerce la matriz son muy parecidas en todas las simulaciones, lo cual no daría en principio ningún tipo de problema.

Por tanto, la geometría óptima que se debe poner debe ser:

- La matriz inferior con radio de acuerdo de 0,2 mm.
- La matriz superior con radio de acuerdo de 1 mm.

4.2.1 TROQUELADO DE LOS ORIFICIOS

Como se ha visto en las transformaciones o pasos anteriores, en este proceso pasa lo mismo, ya que el diseño es bastante elemental, se crea directamente en el programa MarcMentat, en lugar de pasarlo directamente desde formato .DWG, ya que de vez en cuando, da algún tipo de problema.

Pasamos a describir el proceso de generación de las matrices y el punzón cortante (PREPROCESO):

- Para empezar, se crea el croquis para la simulación, con las dimensiones reales de la matriz y sus características técnicas mediante “mesh generation”.

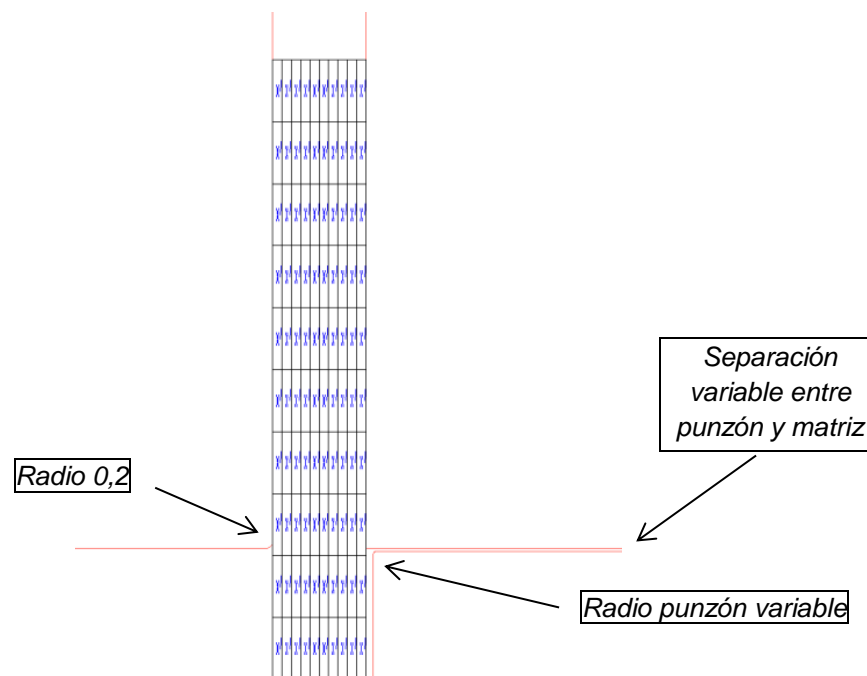


Figura 4.73. Modelo en Marc&Mentat del corte de los orificios

Se establece poner un radio de acuerdo de 0,2 mm a la matriz inferior, para que el material fluya y no se produzcan desgarros e imperfecciones que hagan defectuosa la pieza, además de no poner radio de acuerdo 0 mm, ya que el programa puede dar problemas.

Para esta simulación se va a tener en cuenta la separación o juego entre el punzón cortante y la matriz superior, y el radio del punzón cortante.

Con la permuta de todas las posibilidades de radios y separaciones, salen nueve ensayos, lo cuales se definen con la siguiente tabla:

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6	Ensayo 7	Ensayo 8	Ensayo 9
Radio punzón	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4
Separación	0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,4

Figura 4.74. Tabla de los diferentes ensayos a realizar

A partir de aquí se procede a realizar el análisis con estos parámetros, observando los resultados más favorables para la pieza.

Como en procedimientos anteriores, se realiza un mallado “REMESHING PIEZA” de la pieza, haciendo un remallado con las siguientes divisiones, creando una malla necesaria para la simulación y obtención de datos:

- 10 en dirección X
- 10 en dirección Y
- 1 en dirección Z

Una vez realizado el mallado, se hace hincapié en la zona de la pieza donde más deformación va a sufrir, y se efectúa un ramallado más estricto, ayudando a la resolución de los datos más importantes y a la obtención de mejores resultados de la pieza como se puede observar en la siguiente figura,

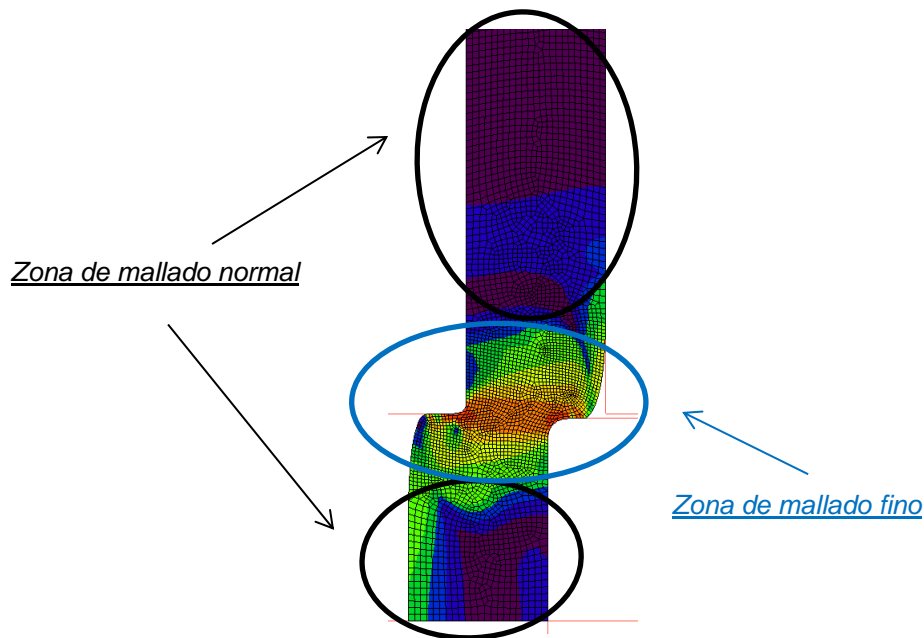


Figura 4.75. Distintas zonas de mallado de la pieza

Terminado el mallado del croquis, se definen las propiedades geométricas de la matriz, se considera una anchura en el eje Z de 1 mm de chapa “THICKNESS”, lo que permitirá el cálculo de la fuerza del proceso multiplicándolo por cada mm de anchura.

Para remallar la zona más conflictiva que va a sufrir nuestra pieza, se utiliza un remallado plano “PLANAR” denominado “ADVANCING FRONT QUAD” con los siguientes parámetros:

- Frecuencia “FREQUENCY”: 25
- Longitud de elemento “ELEMENT EDGE LENGTH”: 0,5 mm.

Con respecto a las propiedades del material con el que se trabaja y que se ha comentado en el apartado anterior, se crea un nuevo material con un módulo de elasticidad (E) de 210.000 MPa y un coeficiente de Poisson (ν) de 0,3.

Se crea una tabla con las propiedades mecánicas del material “STELL”. Se elige el tipo de tabla “EQUIVALENT PLASTIC STRAIN”, y se fabrica el gráfico que determina la fluencia y comportamiento plástico del material como se ha realizado en el apartado anterior.

El criterio de fractura que se usará en los modelos de este proyecto es el de Cockcroft&Latham. La ecuación que define este criterio viene expresada del siguiente modo:

$$\int_0^{\varepsilon f} \sigma_1 d\varepsilon = D$$

Figura 4.76. Ecuación que define Cockcroft&Latham

Donde εf es la tensión efectiva, es la tensión principal y D es una constante del material. El criterio de Cockcroft&Latham establece que cuando la integral del componente de la tensión de tracción es más grande que la deformación plástica en la ecuación, alcanzando el valor de D , generalmente llamado valor de daño, se inicia la segmentación o fractura.

Los valores de D usados son estimaciones, ya que en realidad depende del material.

Una vez creada la geometría de la pieza, se pasa a la sección de los elementos de contacto “CONTACT BODIES” en la que se va a tener cinco elementos:

- Matriz inferior
- Pieza
- Matriz superior
- Punzón
- Simetría (Axyisimetric)

La matriz inferior y superior, van a ser cuerpos no deformables y rígidos. La pieza va a obtener la forma deseada, en este caso, se debe poner, cuerpo deformable, con un coeficiente de fricción o rozamiento “FRICTION COEFFICIENT” entre las matrices superior e inferior de 0,3 para que se tenga en cuenta a la hora de la deformación. La simetría se realiza para ahorrar tiempo en la creación de la geometría y que el programa no trabaje tanto realizando cálculos, ya que al fin y al cabo sería realizarlos dos veces por igual.

A la hora del desplazamiento vertical (eje Y) del punzón, se tiene en cuenta que baja hasta perforar la pieza con un diámetro de 8,5 mm y un espesor de 3 mm.

La definición de los cuerpos de contacto en el programa, queda asignado de la siguiente manera:

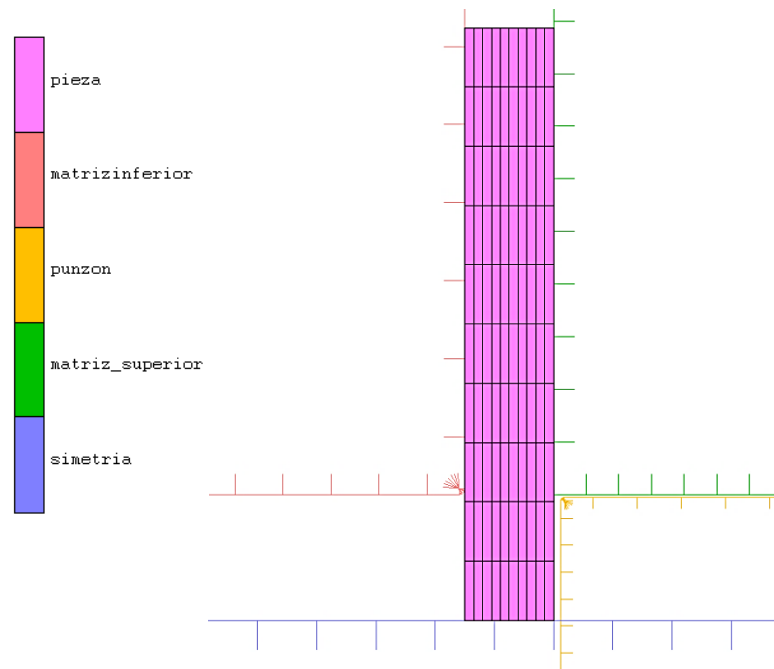


Figura 4.77. Modelo en MarcMentat con los contactos de los cuerpos definidos

LOADCASE

En esta simulación tenemos un único caso de carga. Es un caso de carga de tipo estructural estático “STRUCTURAL static”, en el que se modeliza la deformación plástica del material durante el troquelado de los orificios laterales. Hay 250 pasos hasta que se completa dicha estampación.

JOBS

Los resultados que se piden son, como en las simulaciones anteriores ya realizadas, las siguientes:

- Deformación plástica equivalente “TOTAL EQUIVALENT PLASTIC STRAIN”.
- Tensión de von Misses “EQUIVALENT VON MISES STRESS”.
- Daños “DAMAGE”.
- Gráfico de la Fuerza que ejerce el punzón al cortar la pieza.

RESULTADOS OBTENIDOS

Deformación plástica equivalente "TOTAL EQUIVALENT PLASTIC STRAIN"

En las siguientes imágenes se va observar los resultados de las deformaciones plásticas equivalentes que sufre la chapa en sus puntos más críticos durante el corte de los orificios laterales de diámetro 8,5 mm.

Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz y punzón de 0,1 mm

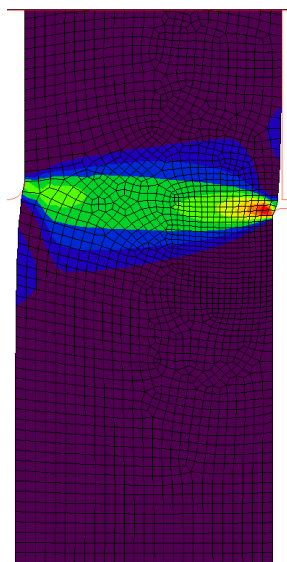
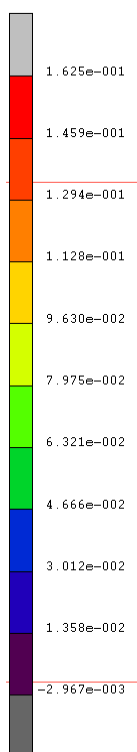


Figura 4.78 a.

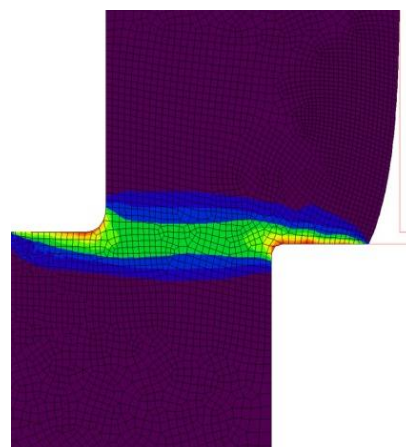
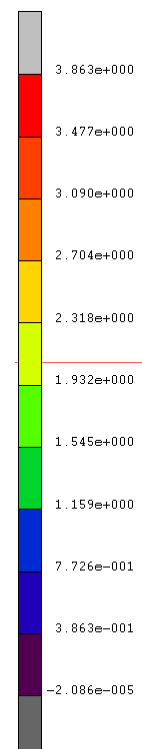


Figura 4.78 b.



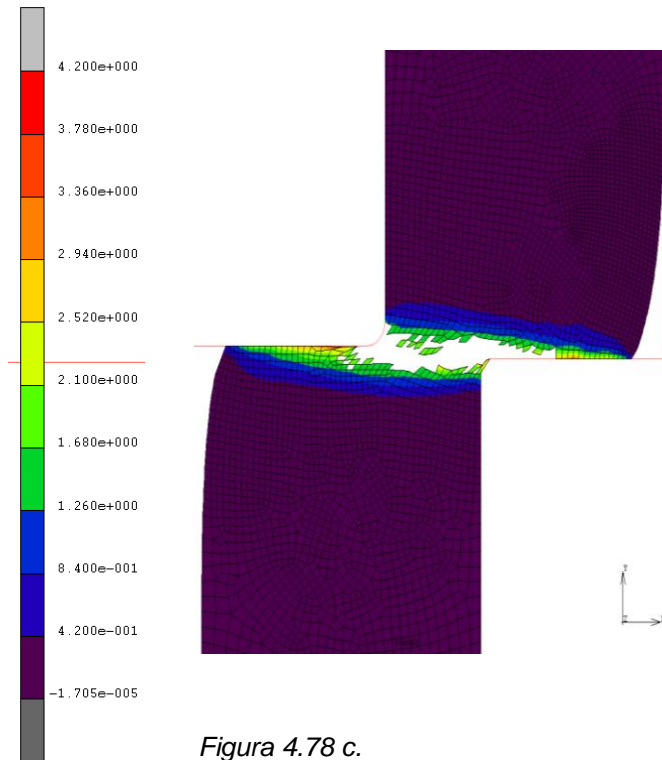


Figura 4.78. Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,1 mm

Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz y punzón de 0,2 mm

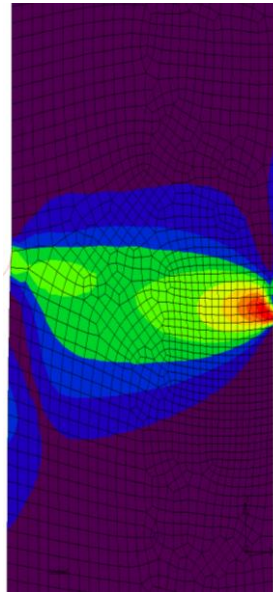
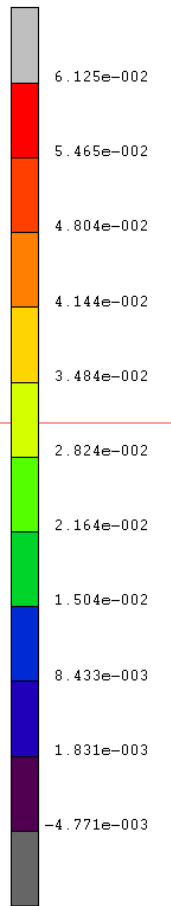


Figura 4.79 a.

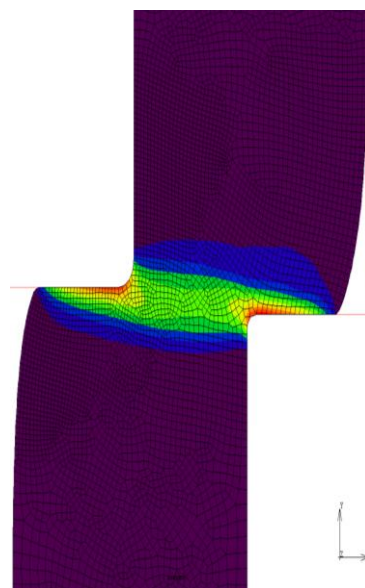
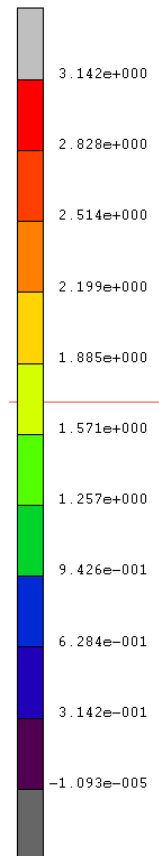


Figura 4.79 b.

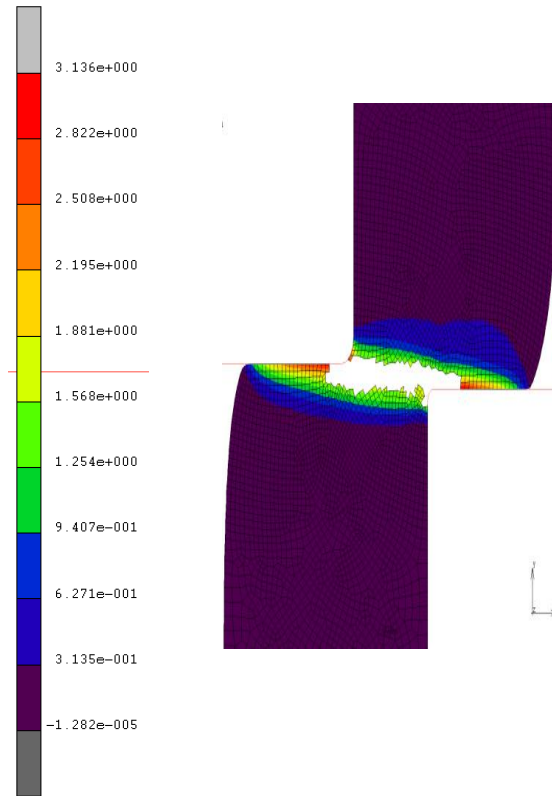


Figura 4.79 c.

Figura 4.79. Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,2 mm

Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz y punzón de 0,4 mm

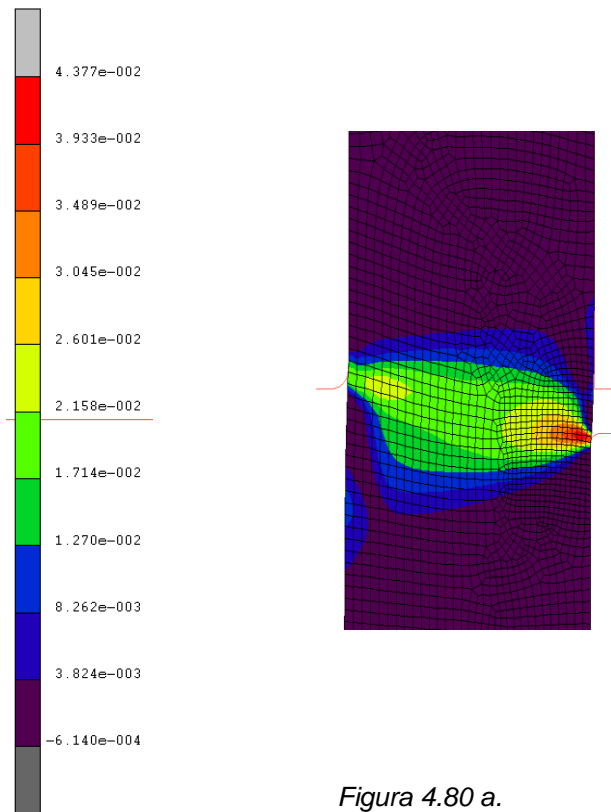


Figura 4.80 a.

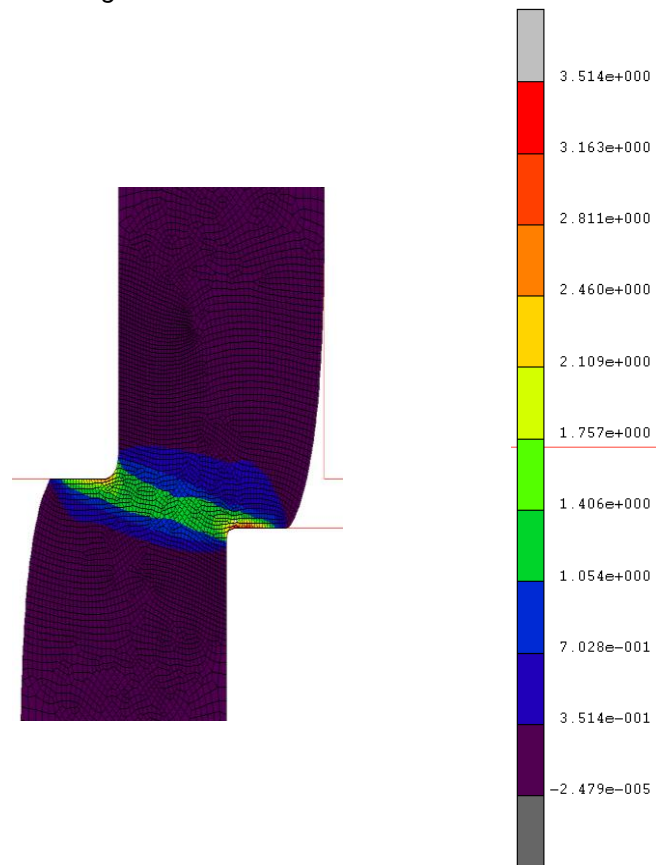


Figura 4.80 b.

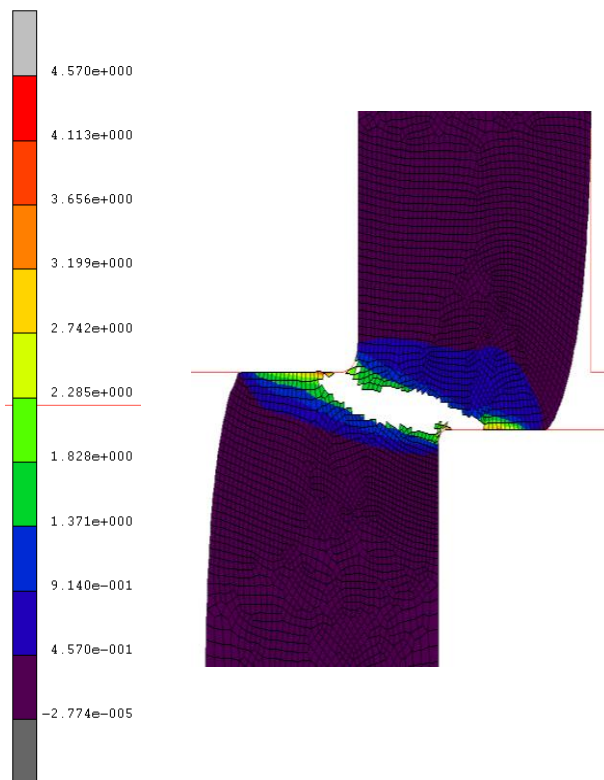
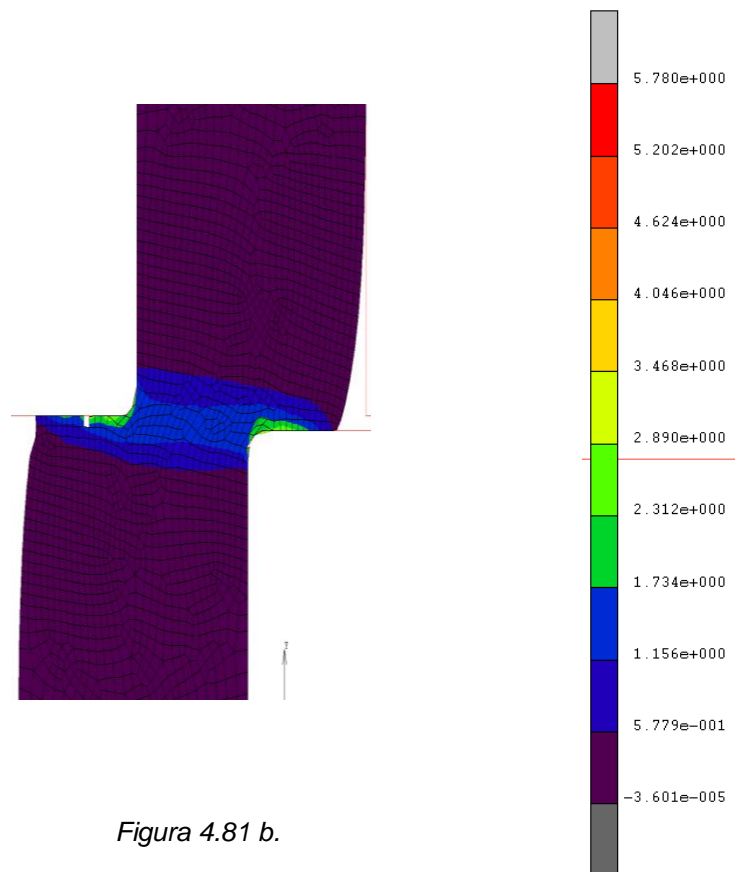
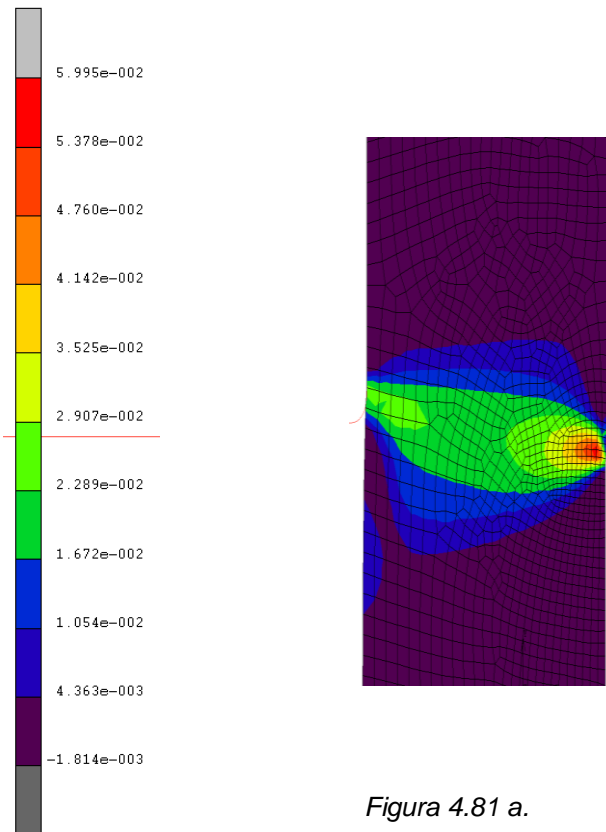


Figura 4.80 c.

Figura 4.80. Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,4 mm

Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz y punzón de 0,1 mm



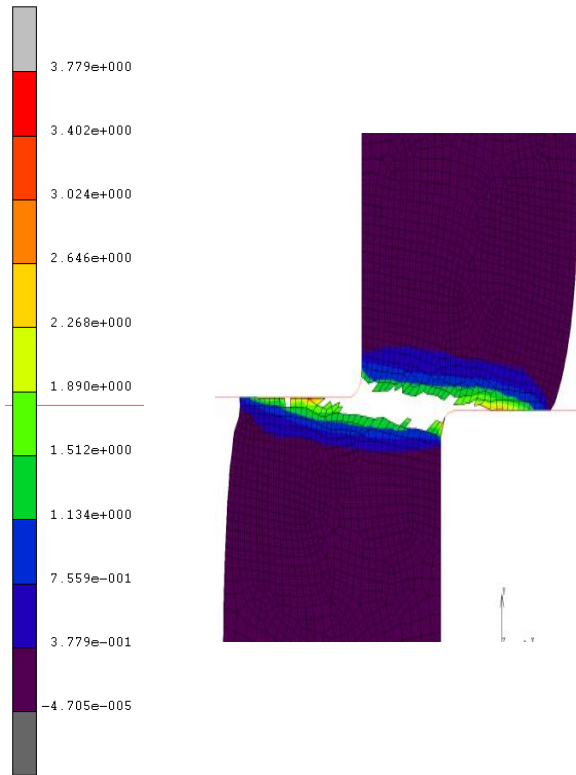


Figura 4.81 c.

Figura 4.81. Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,1 mm

Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz y punzón de 0,2 mm

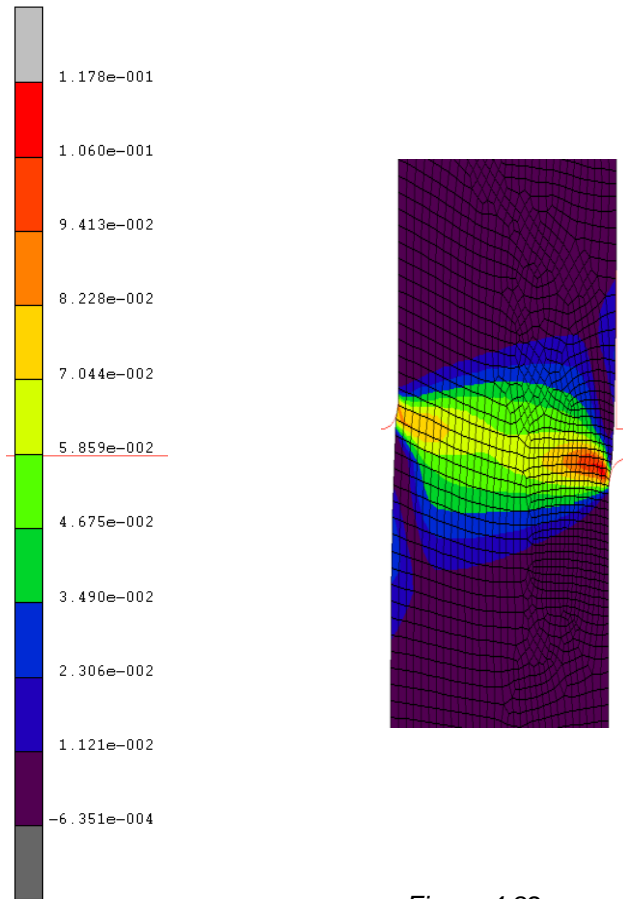


Figura 4.82 a.

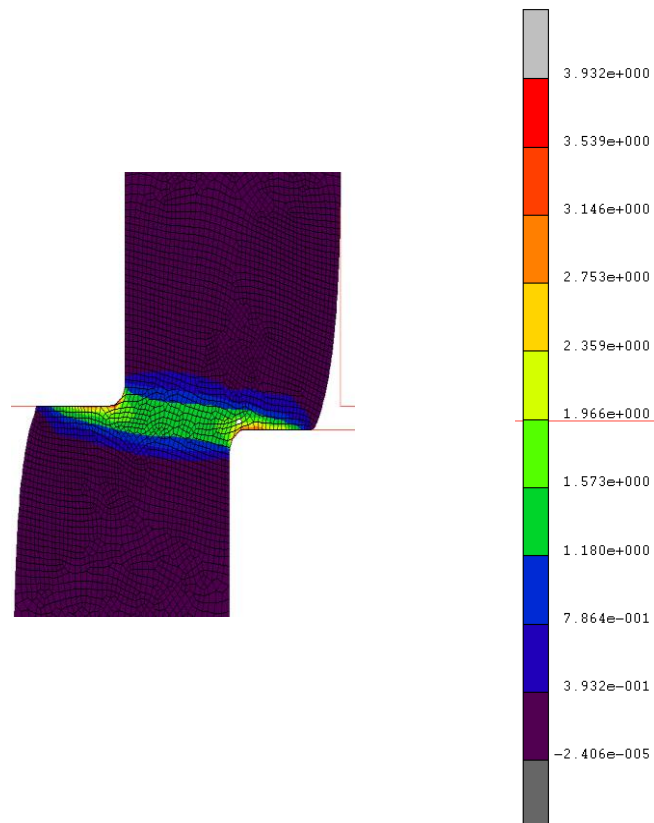


Figura 4.82 b.

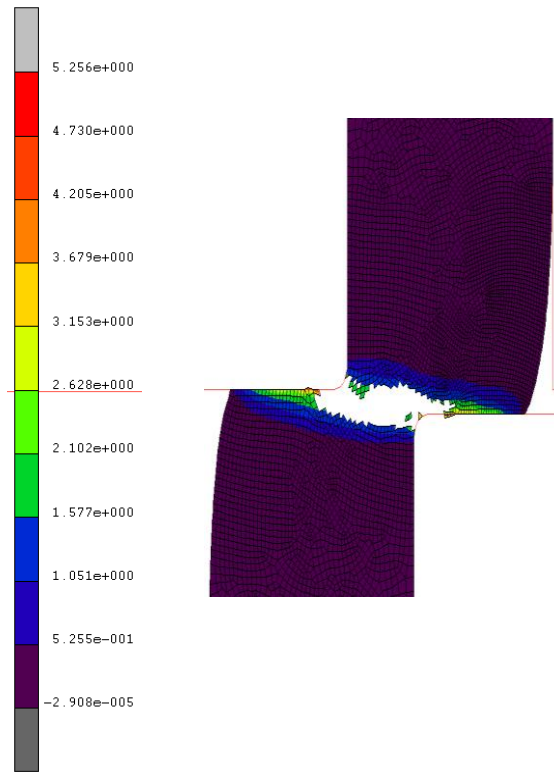


Figura 4.82 c.

Figura 4.82. Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,2 mm

Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz y punzón de 0,4 mm

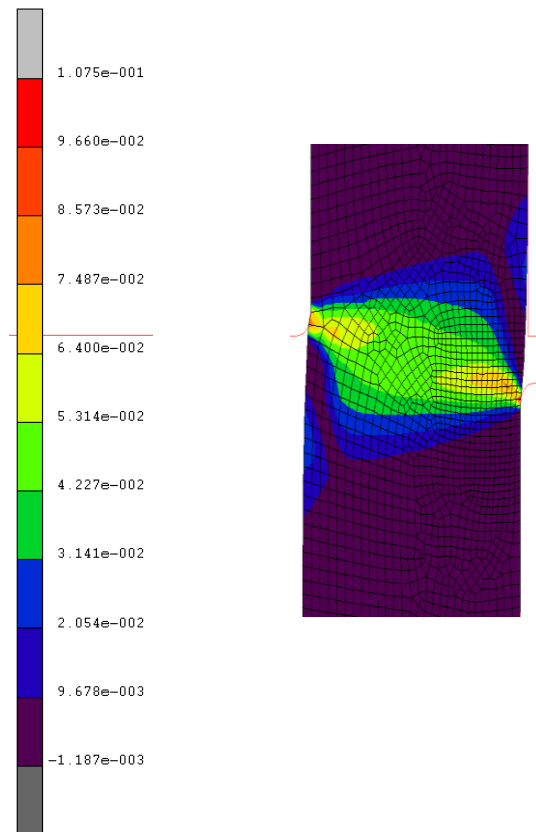


Figura 4.83 a.

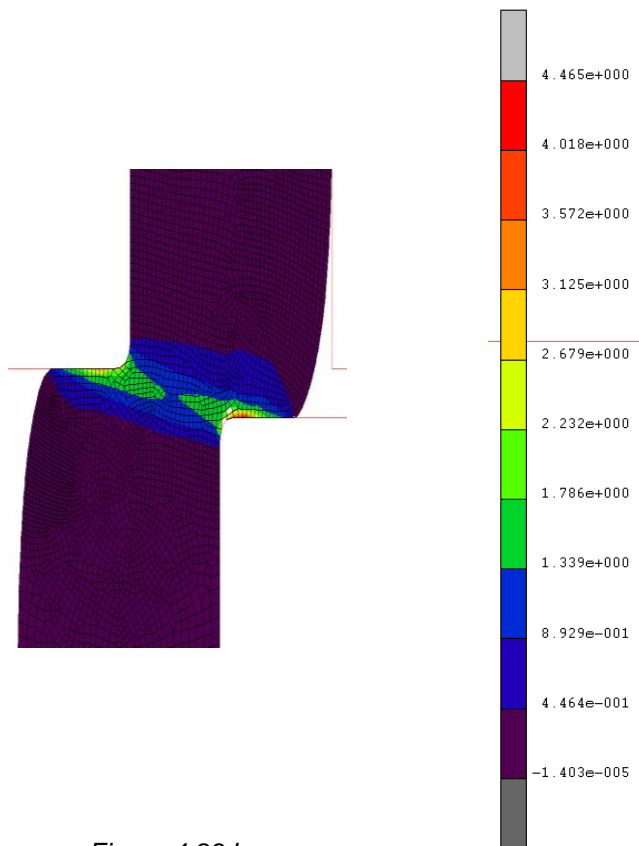


Figura 4.83 b.

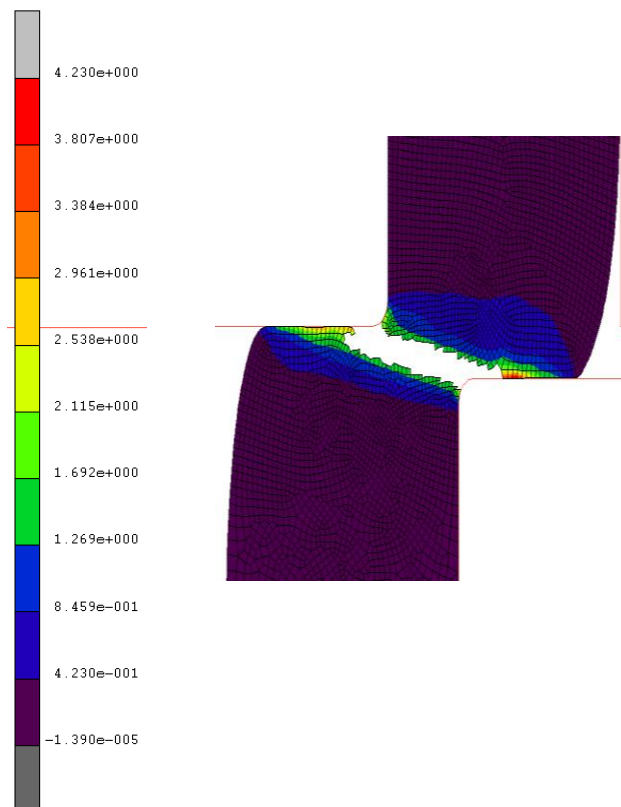


Figura 4.83 c.

Figura 4.83. Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,4 mm

Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz y punzón de 0,1 mm

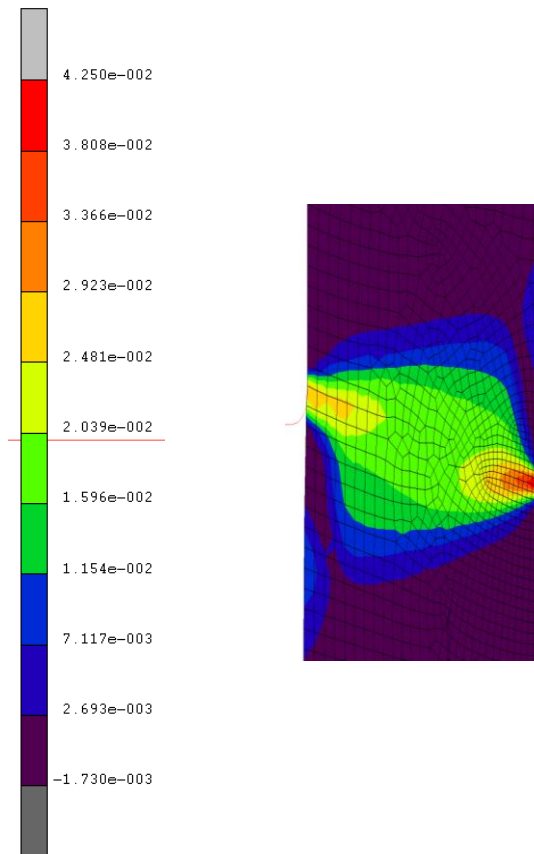


Figura 4.84 a.

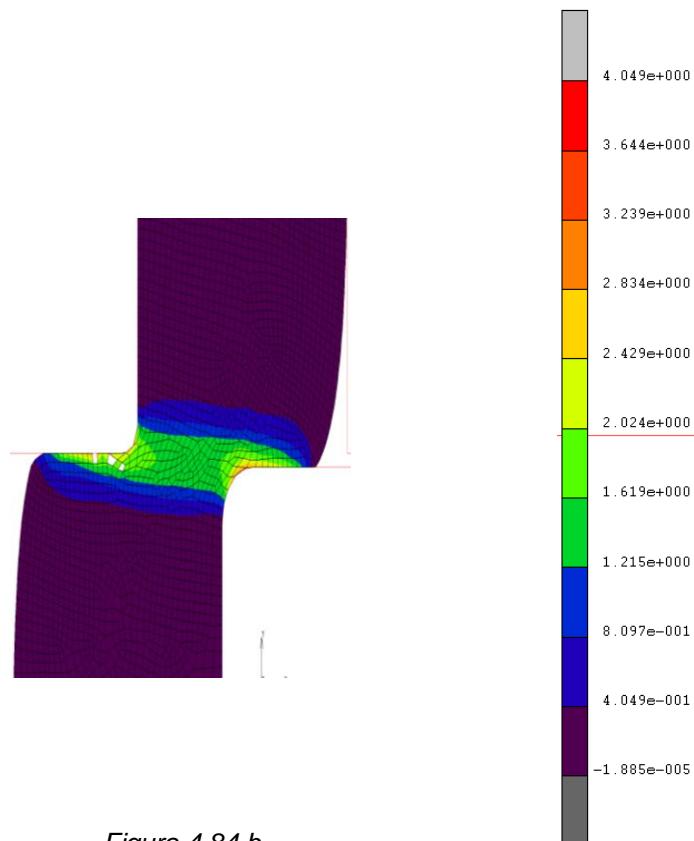


Figura 4.84 b.

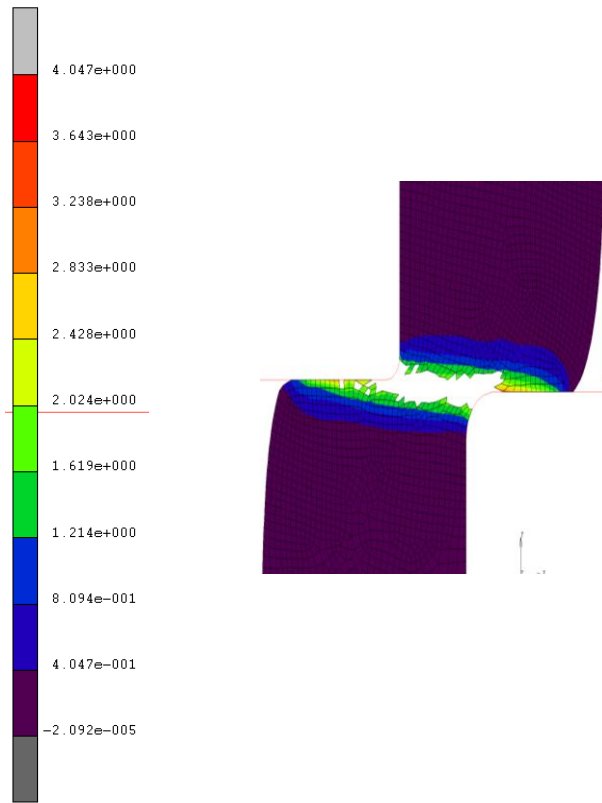


Figura 4.84 c.

Figura 4.84. Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,1 mm

Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz y punzón de 0,2 mm

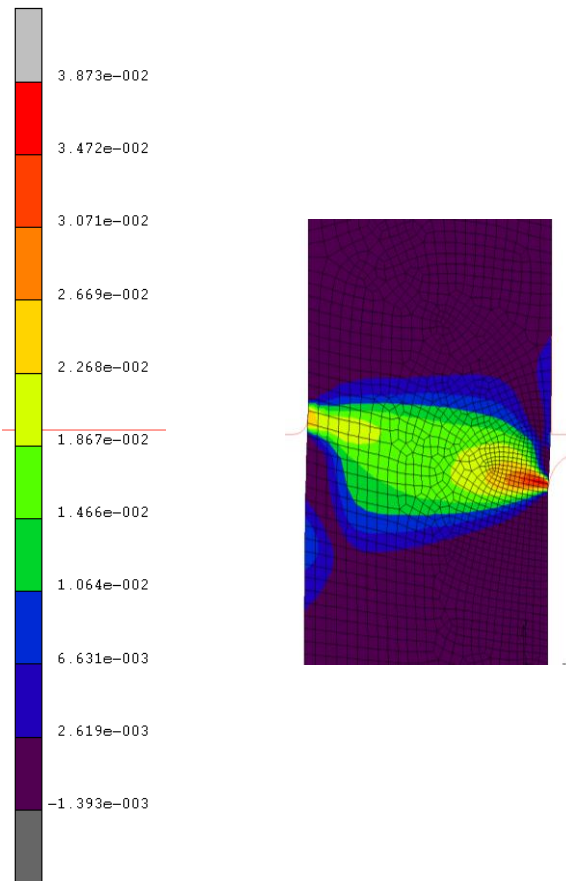


Figura 4.85 a.

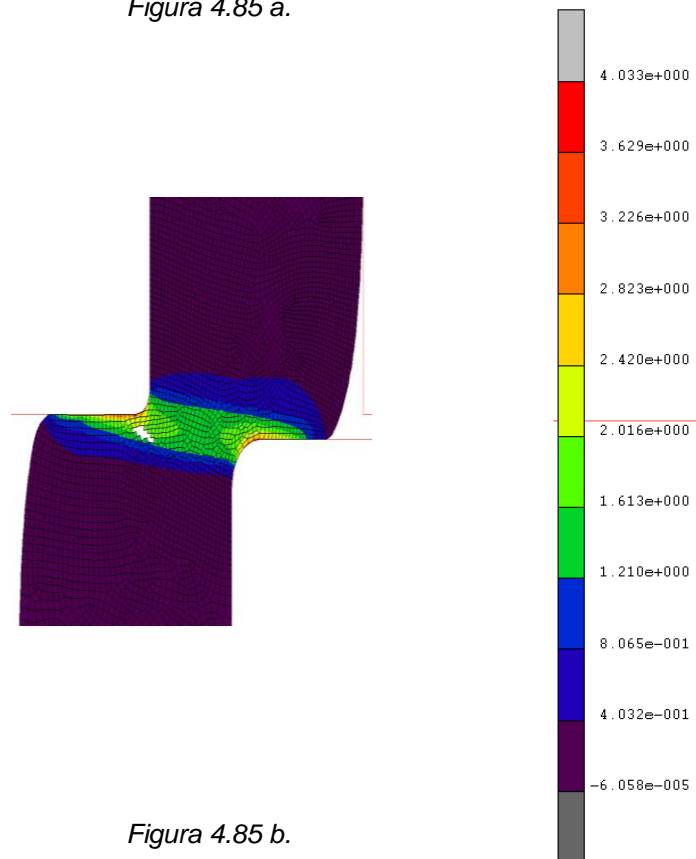


Figura 4.85 b.

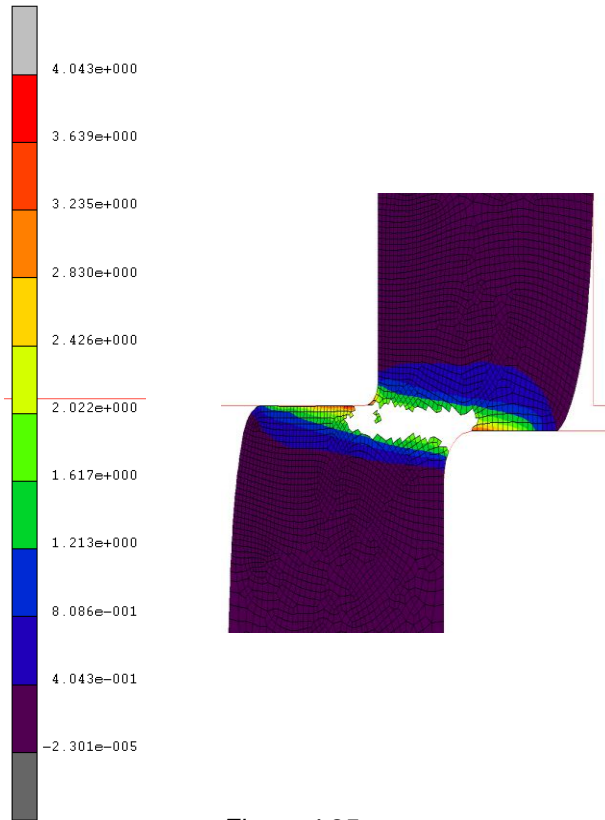


Figura 4.85 c.

Figura 4.85. Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,2 mm

Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz y punzón de 0,4 mm

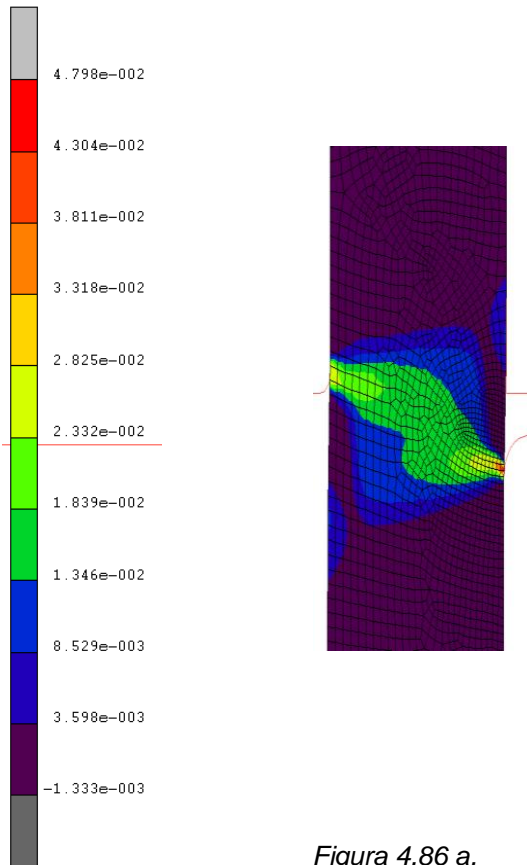


Figura 4.86 a.

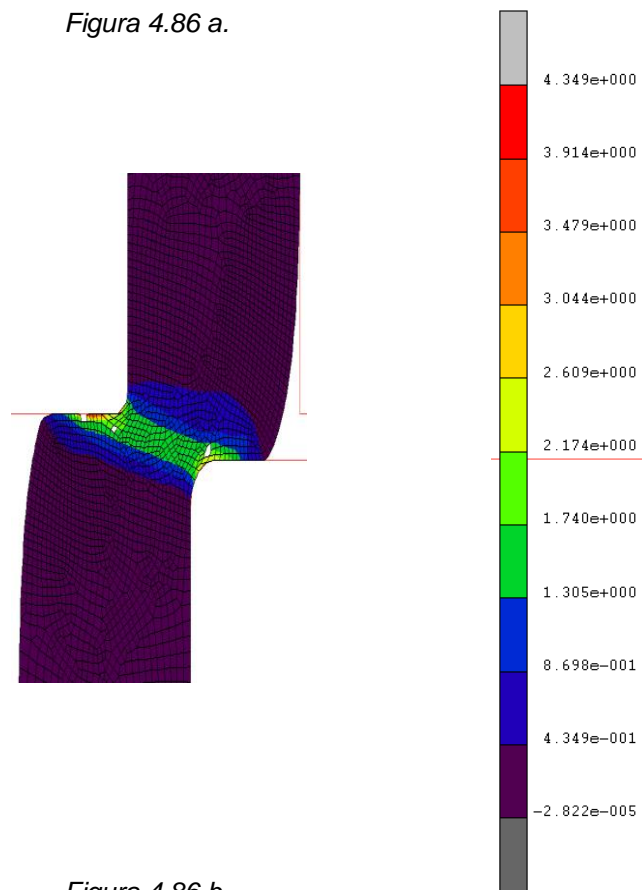


Figura 4.86 b.

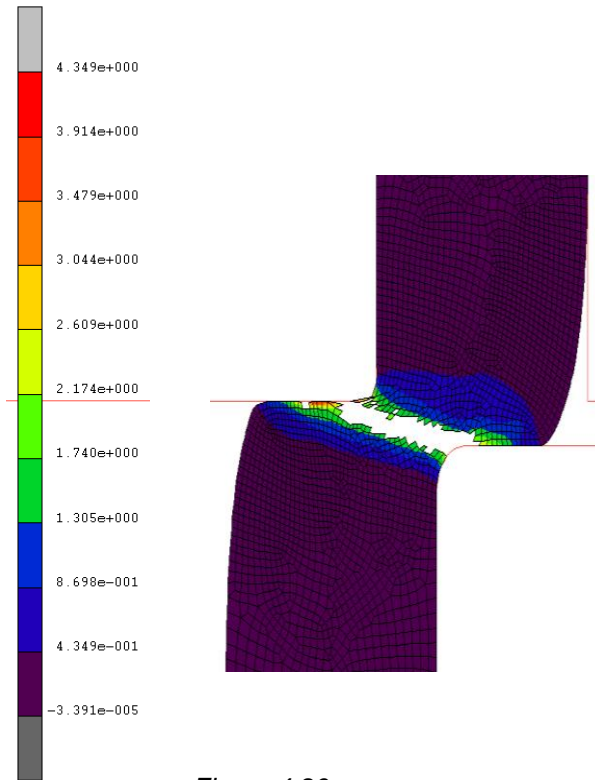


Figura 4.86 c.

Figura 4.86. Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,4 mm

Después de ver las imágenes, se puede observar las diferentes deformaciones plásticas que aparecen en la pieza desde que se empieza a troquelar el agujero, cuando empiezan a desaparecer elementos de la pieza, y cuando esta troquelado totalmente.

Como se viene haciendo anteriormente, se procede a realizar una tabla para ver valores máximos de las diferentes deformaciones plásticas que aparecen en cada simulación.

Radio punzón – Separación (mm)	Valor máx	
	Comienzo	Durante
0,1 - 0,1	0,1294	2,634
0,1 - 0,2	0,0546	2,514
0,1 - 0,4	0,03489	2,811
0,2 - 0,1	0,04760	2,312
0,2 - 0,2	0,09413	2,753
0,2 - 0,4	0,07487	3,572
0,4 - 0,1	0,03366	2,429
0,4 - 0,2	0,03071	2,823
0,4 - 0,4	0,03811	3,044

Figura 4.87. Tabla de los valores máximos de las deformaciones plásticas

Teniendo en cuenta los valores máximos y los gradientes de deformación plástica, se decidirá cuál es la geometría óptima variando entre el radio del punzón y la separación entre el punzón y la matriz.

Una vez estudiadas las imágenes, se puede observar claramente que cuanto mayor separación hay entre punzón y matriz, mayor es la diagonal de la grieta de rotura de la pieza, por tanto se tendrá en cuenta este dato, que cuanto menor sea la separación entre punzón y matriz, mejor será el acabado de la pieza.

También se observa que al acabar de troquelar el agujero, se ve que la primera parte de la pieza queda muy buen acabado, pasando a desgarrar la pieza en la parte medio-final de la pieza no quedando tan buen acabado como se desearía. Esto pasa en todas las simulaciones y en la realidad, lo cual se puede tener confianza en este estudio.

Pasando a hablar sobre los valores máximos, se va a tener en cuenta el instante donde los elementos empiezan a ser eliminados ya que durante el comienzo apenas hay deformación plástica, ya que es el momento en el que el punzón hace contacto con la pieza.

Se observa que las geometrías que tienen la separación máxima del proyecto, siendo estas de 0,4 mm entre el punzón y la matriz, son las tres de las cuatro primeras simulaciones que más valores máximos generan, por lo tanto se va a intentar obtener una geometría óptima fijándonos principalmente en el valor de separación que hay entre punzón y matriz.

A continuación se expone una tabla con los valores máximos ordenados de mayor a menor, para ver más claramente que geometrías que más o menos nos dan las deformación plástica.

Radio punzón – Separación (mm)	Valor máx
	Durante (comienzo de eliminación de elementos)
0,2 - 0,4	3,572
0,4 - 0,4	3,044
0,4 - 0,2	2,823
0,1 - 0,4	2,811
0,2 - 0,2	2,753
0,1 - 0,1	2,634
0,1 - 0,2	2,514
0,4 - 0,1	2,429
0,2 - 0,1	2,312

Figura 4.88. Tabla de los valores máximos al comienzo de la eliminación de elementos

Como ya habíamos dicho antes, las geometrías con separación de 0,4 mm son las que mayor deformación plástica producen, siendo en este caso las geometrías con separación de 0,1 mm las que menos. Por eso se va a intentar escoger una geometría con la menor separación posible aunque no sea la que menos deformación plástica produce, así poder jugar cuando se estudien los ensayos de tensión de von mises “EQUIVALENT VON MISES STRESS” y de daño “DAMAGE”, pudiendo combinar entre los tres ensayos, la geometría que más se adapte a dichos ensayos.

En este caso, parece una buena elección la geometría de radio de acuerdo en el punzón de 0,2 mm y una separación de entre punzón y matriz de 0,1 mm puesto que cuanto menos separación, más recta será la grieta de rotura en el eje transversal de la pieza.

Tensión de von Mises "EQUIVALENT VON MISES STRESS"

A continuación se pasa a observar las tensiones de Von Mises con las diferentes separaciones y radios de acuerdo del punzón como se ha hecho anteriormente. También se observa las distribuciones de tensiones que sufre la chapa en sus puntos más críticos durante el corte de los orificios laterales de diámetro 8,5 mm.

Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz y punzón de 0,1 mm

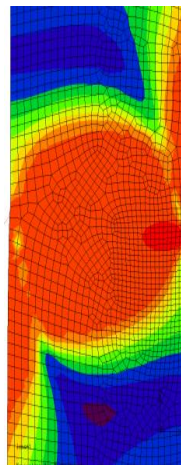
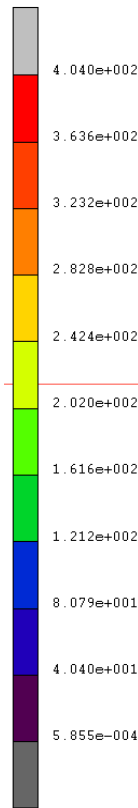


Figura 4.89 a.

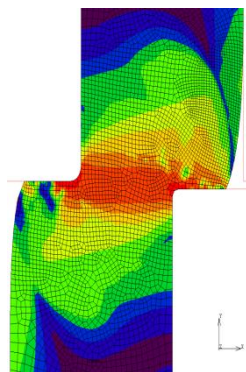
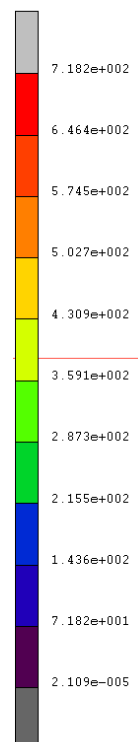


Figura 4.89 b.



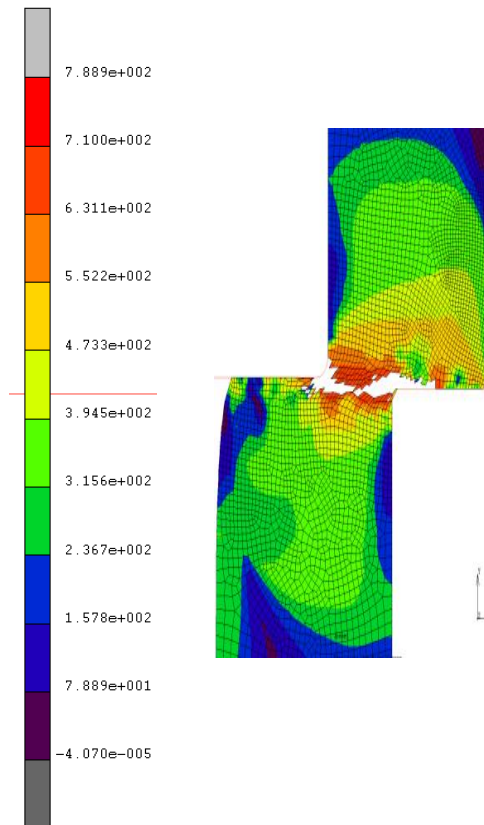


Figura 4.89 c.

Figura 4.89. Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,1 mm

Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz y punzón de 0,2 mm

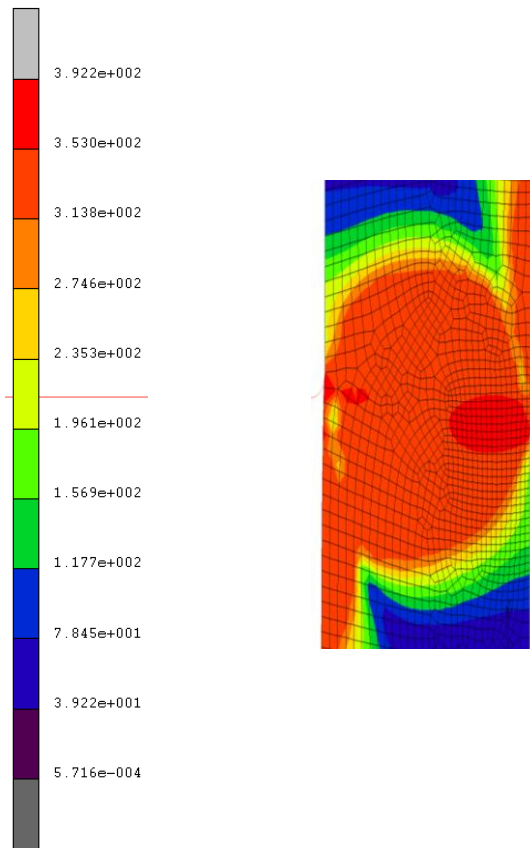


Figura 4.90 a.

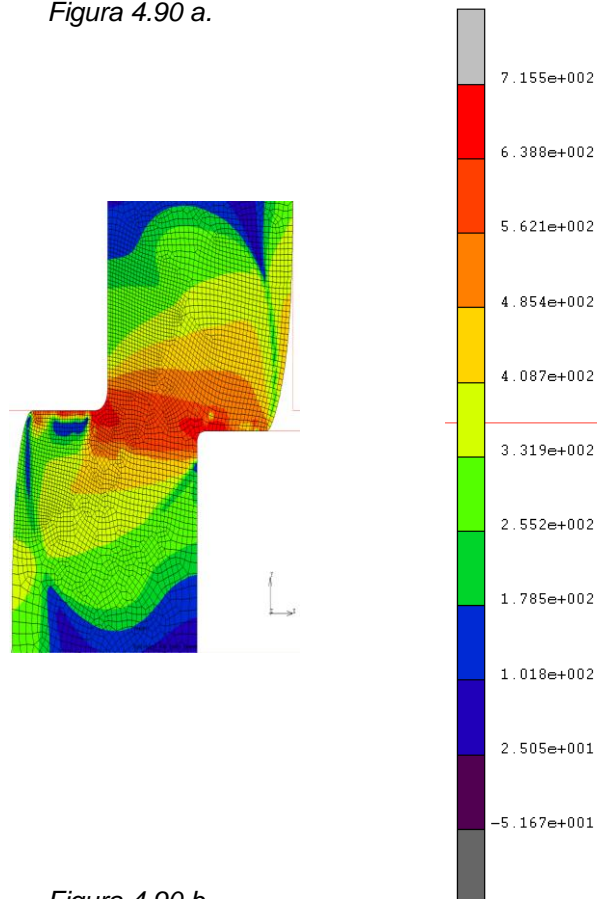


Figura 4.90 b.

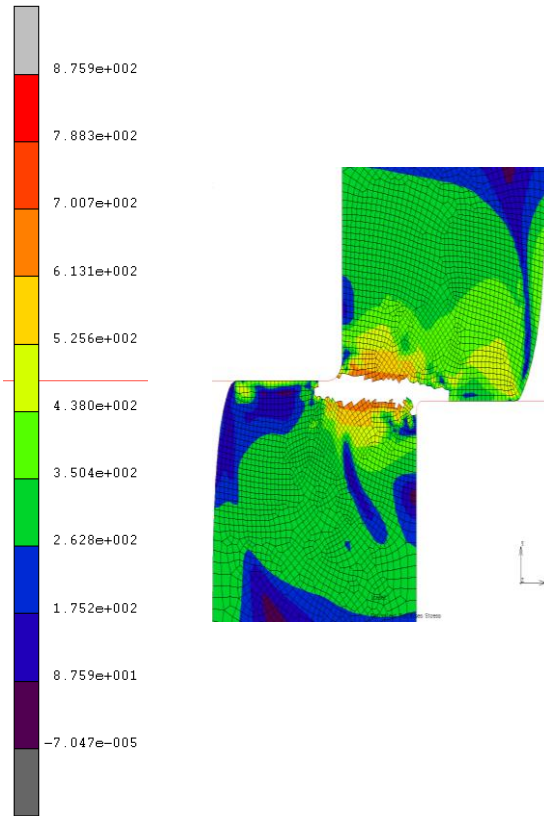


Figura 4.90 c.

Figura 4.90. Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,2 mm

Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz y punzón de 0,4 mm

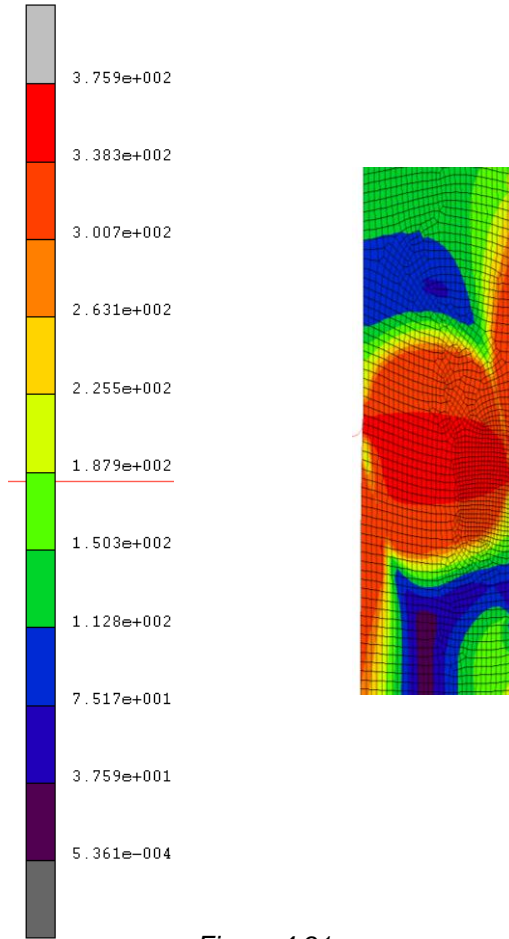


Figura 4.91 a.

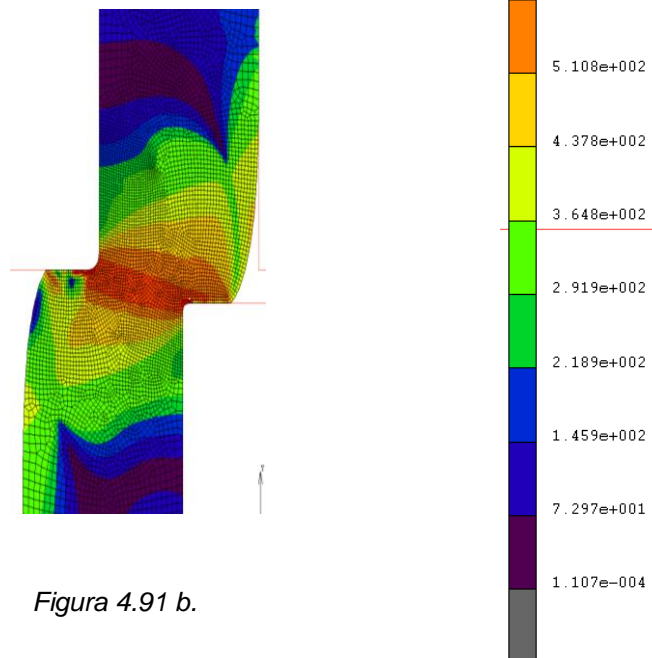


Figura 4.91 b.

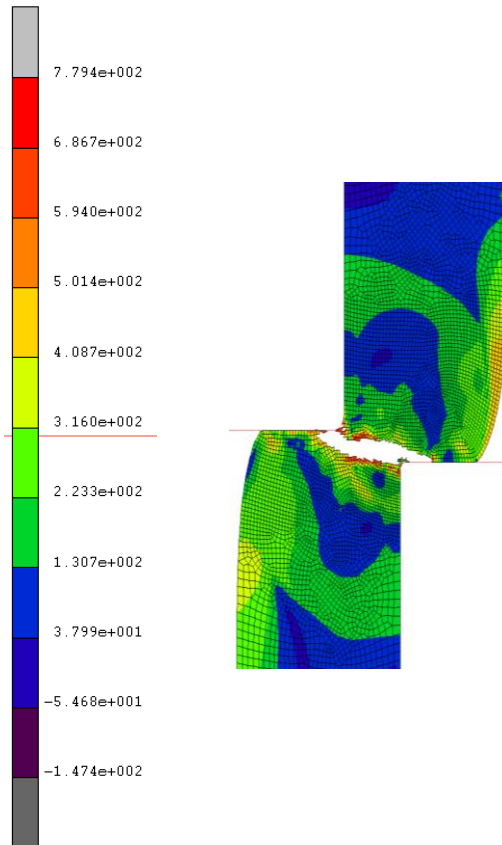


Figura 4.91 c.

Figura 4.91. Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,4 mm

Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz y punzón de 0,1 mm

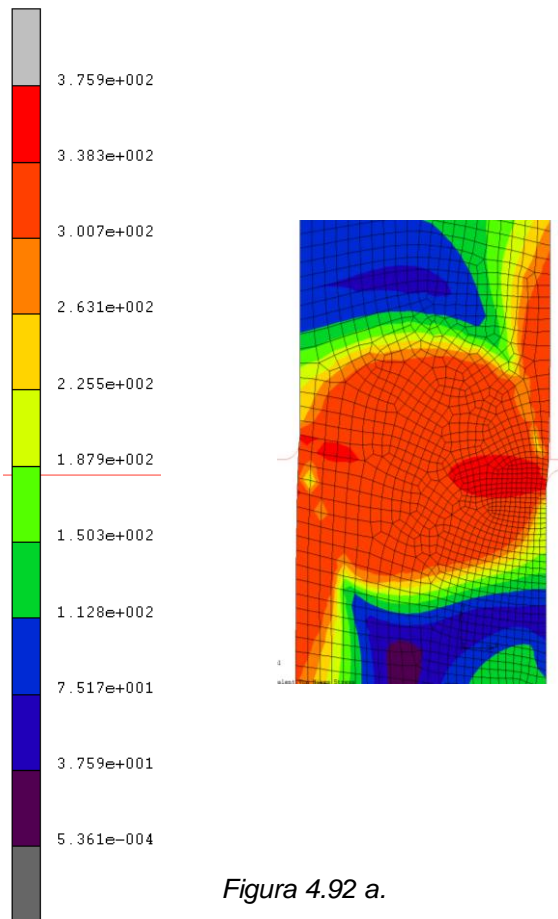


Figura 4.92 a.

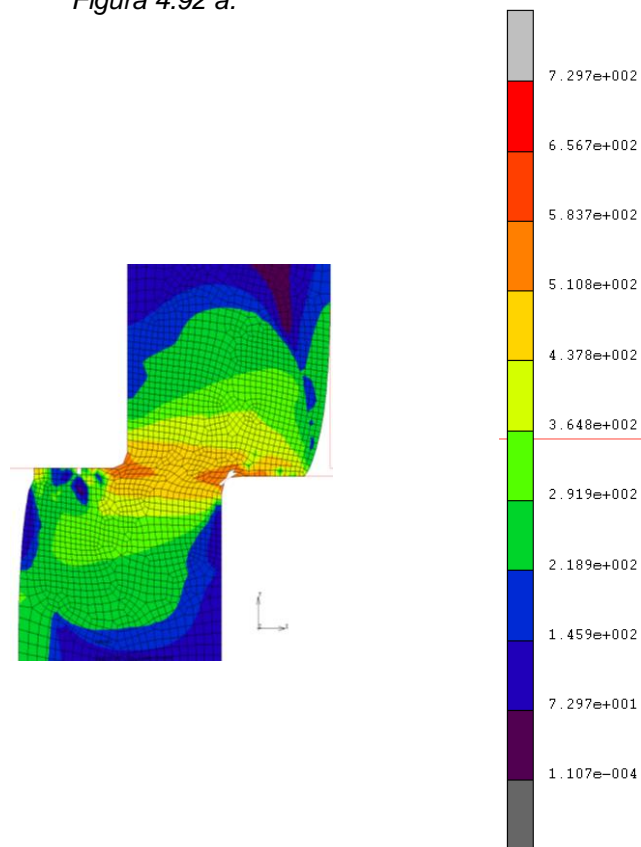


Figura 4.92 b.

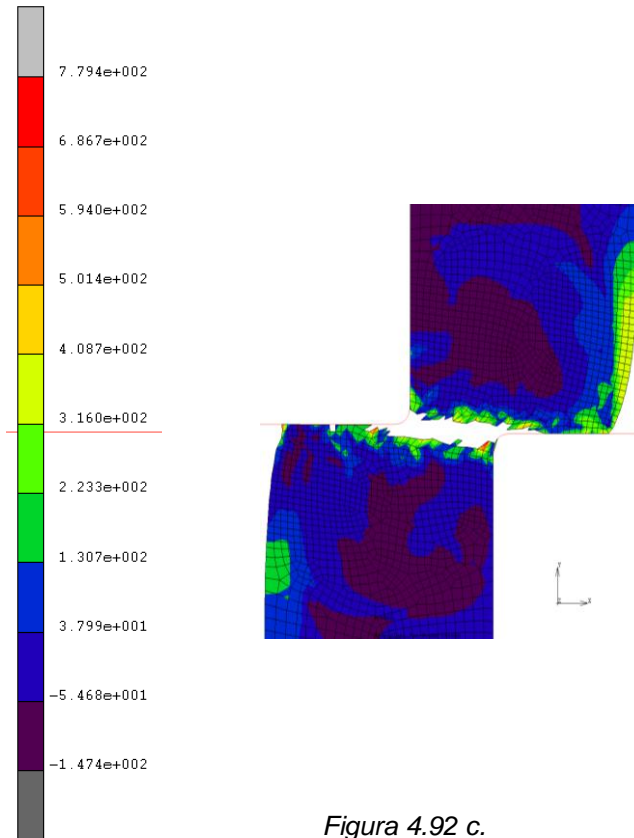


Figura 4.92 c.

Figura 4.92. Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,1 mm

Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz y punzón de 0,2 mm

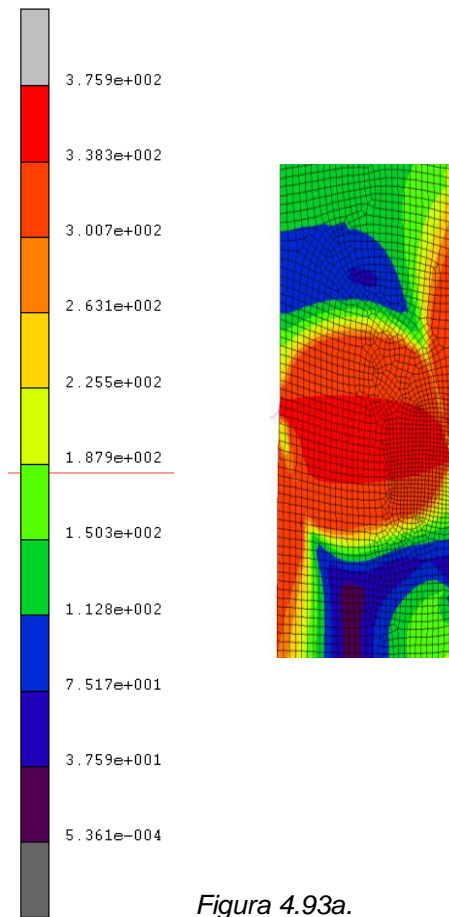


Figura 4.93a.

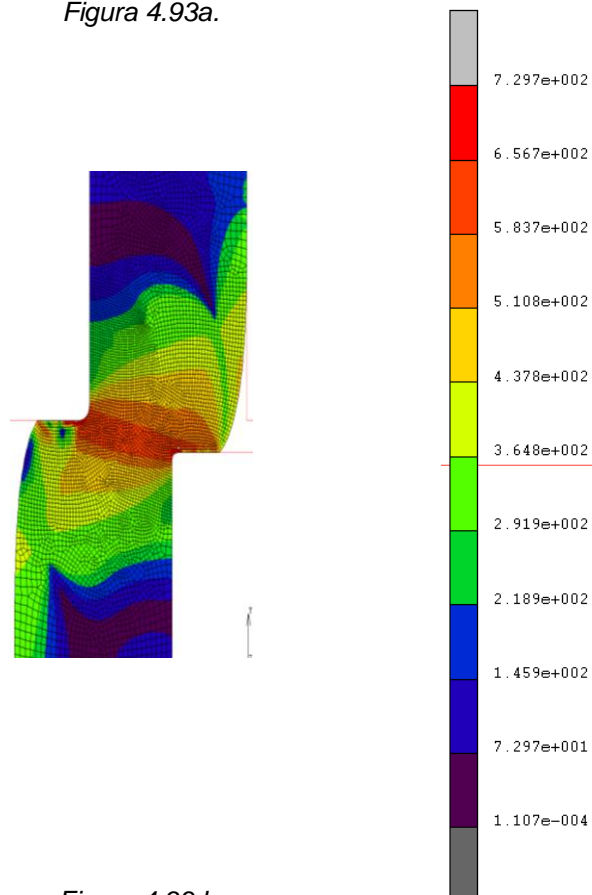


Figura 4.93 b.

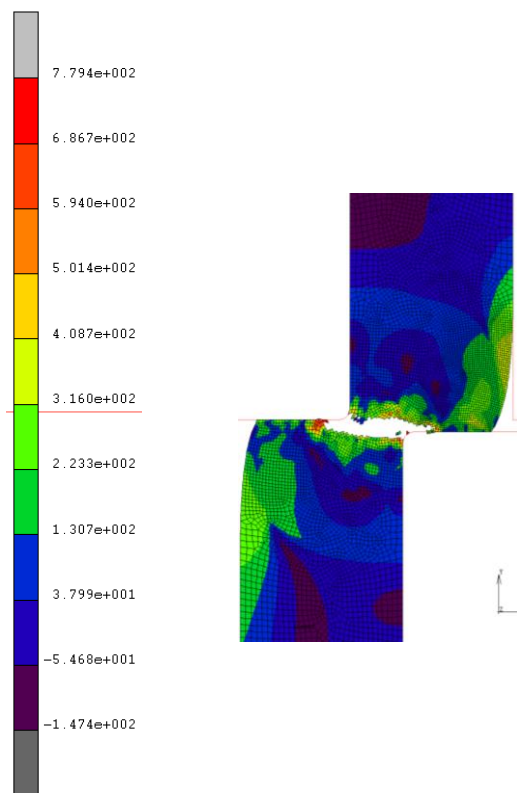


Figura 4.93 c.

Figura 4.93. Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,2 mm

Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz y punzón de 0,4 mm

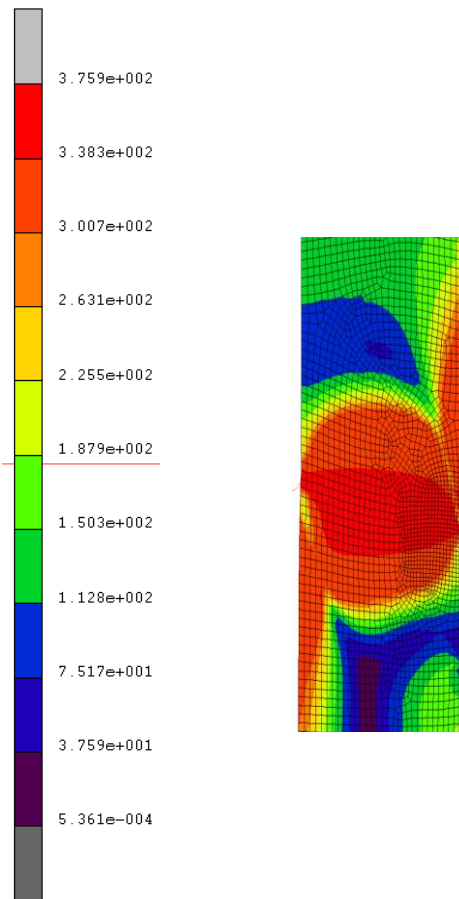


Figura 4.94 a.

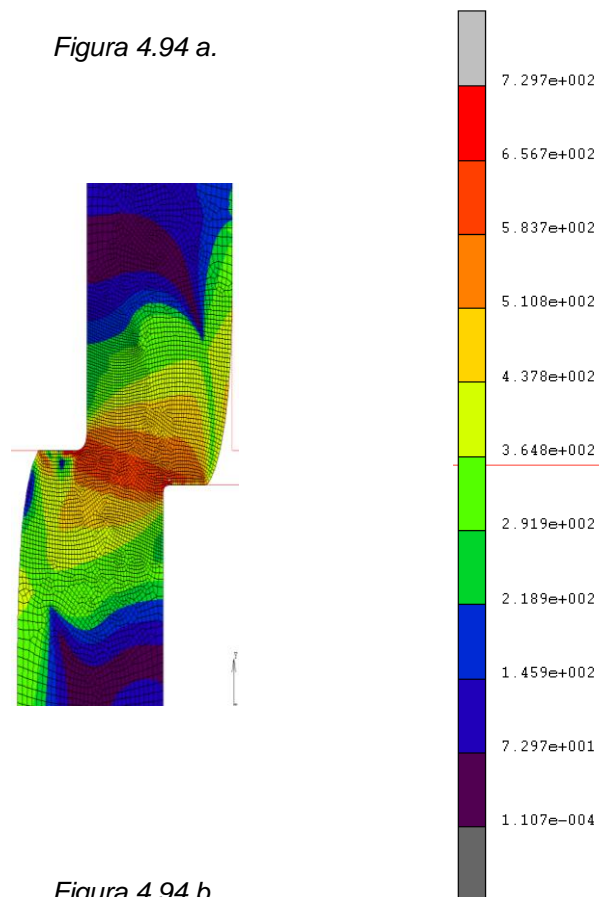


Figura 4.94 b.

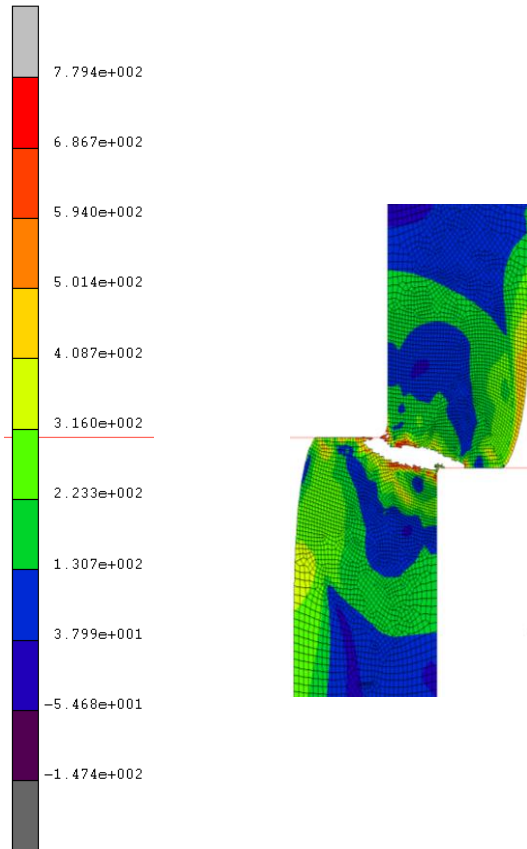


Figura 4.94 c.

Figura 4.94. Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,4 mm

Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz y punzón de 0,1 mm

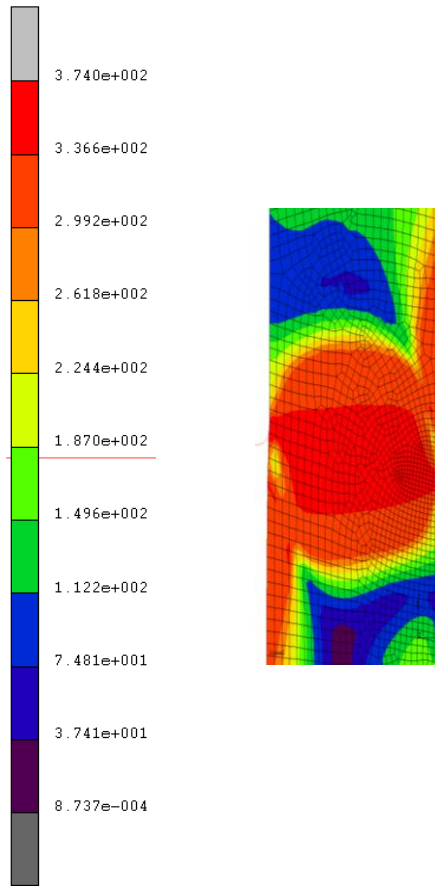


Figura 4.95 a.

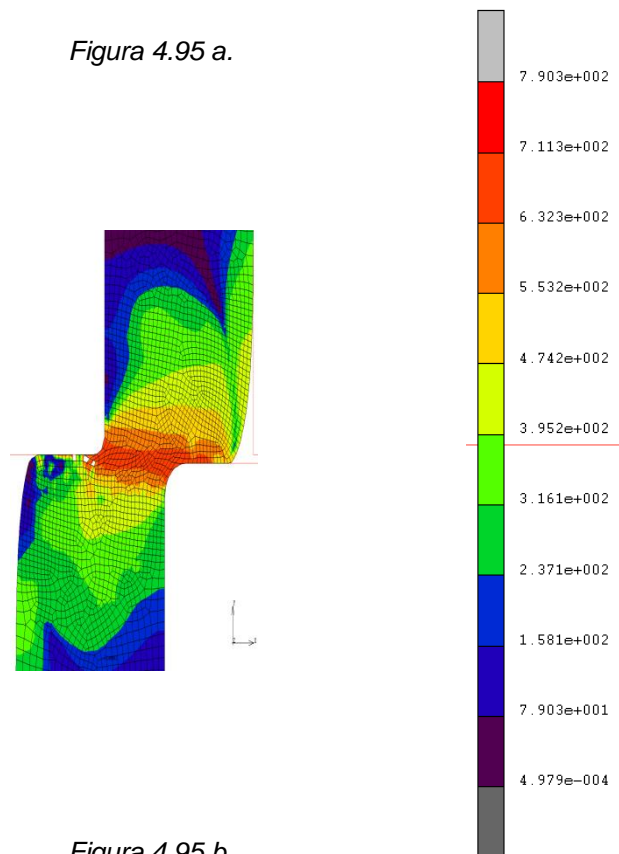


Figura 4.95 b.

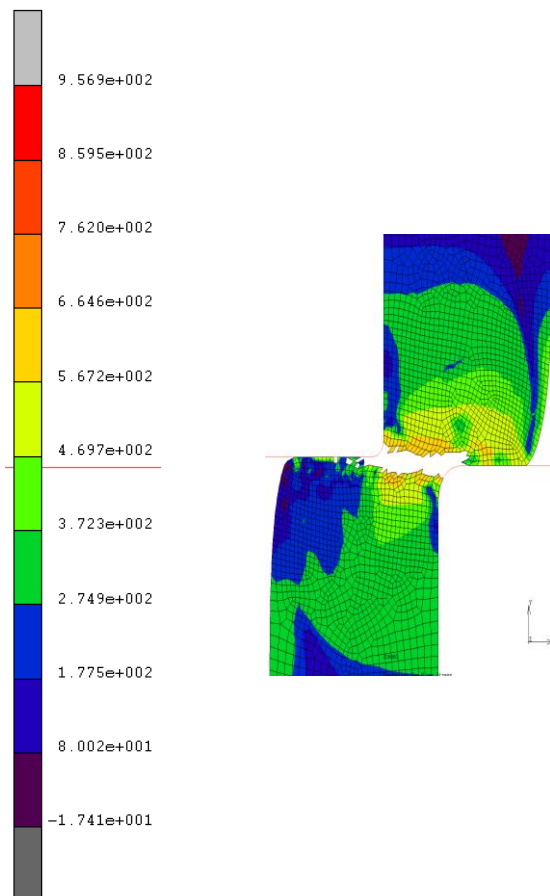


Figura 4.95 c.

Figura 4.95. Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,1 mm

Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz y punzón de 0,2 mm

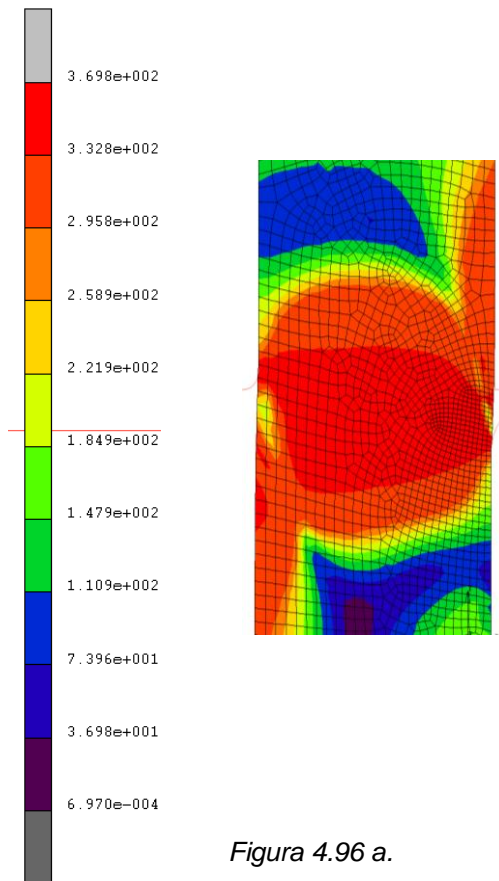


Figura 4.96 a.

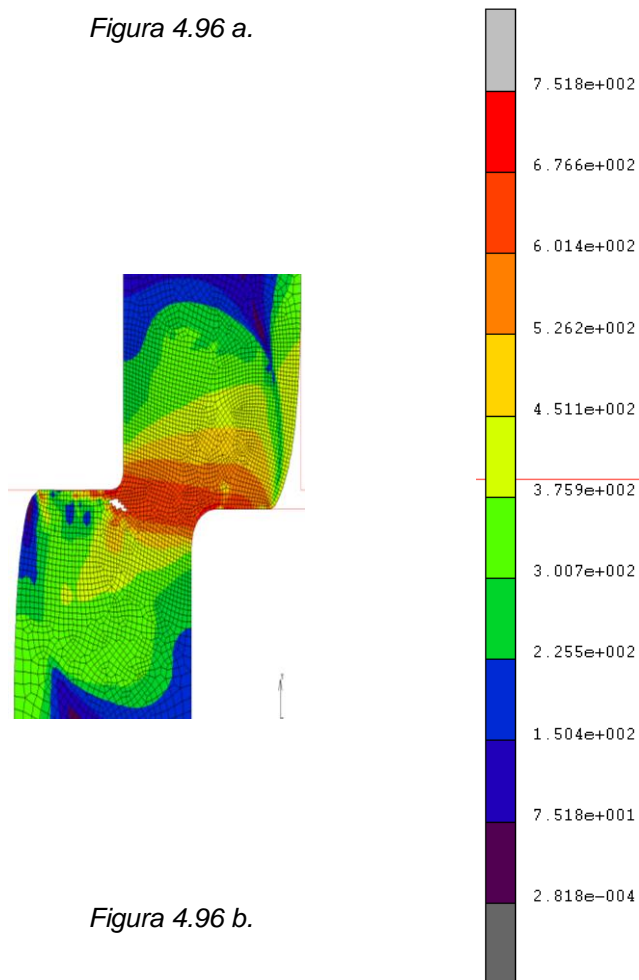


Figura 4.96 b.

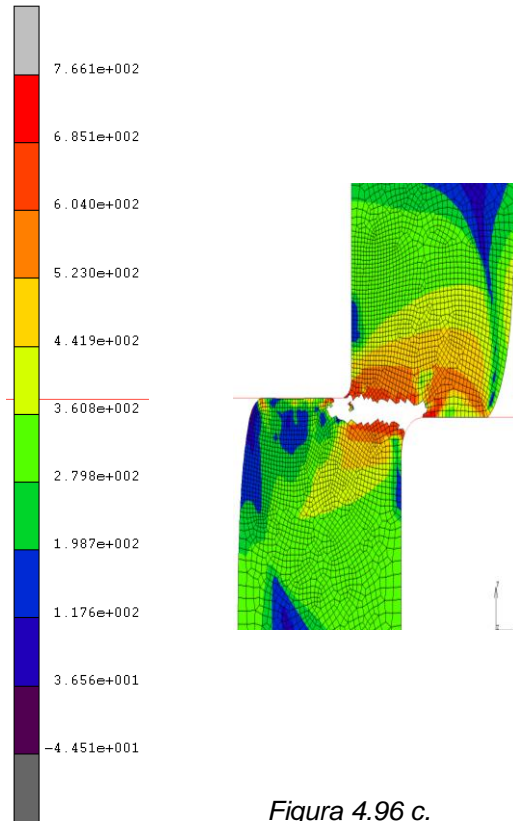


Figura 4.96 c.

Figura 4.96. Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,2 mm

Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz y punzón de 0,4 mm

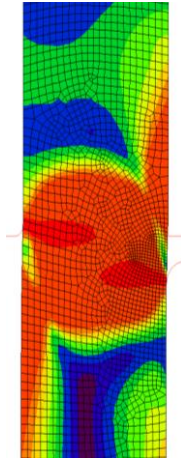
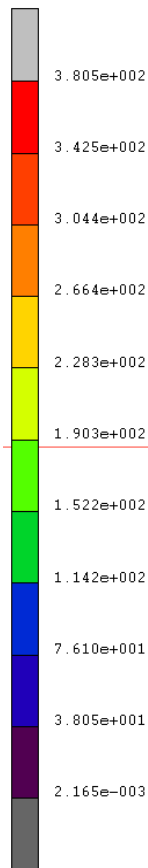


Figura 4.97 a.

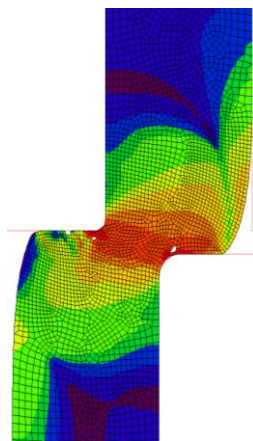
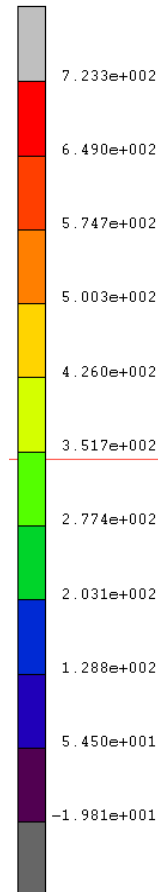


Figura 4.97 b.



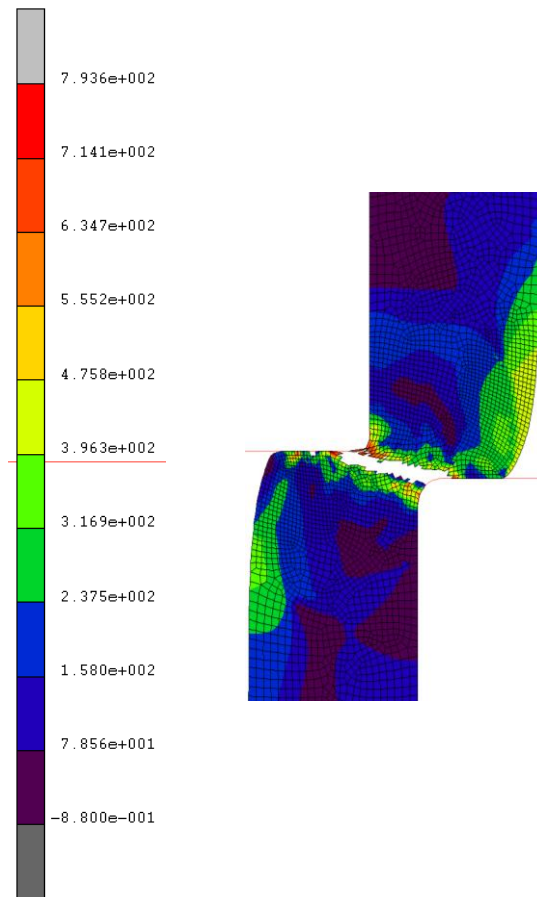


Figura 4.97 c.

Figura 4.97. Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,4 mm

Una vez vistas las imágenes, se puede observar las diferentes tensiones que aparecen en la pieza desde que se empieza a troquelar el agujero, cuando empiezan a desaparecer elementos de la pieza, y cuando esta troquelado totalmente

Como ya va siendo habitual, se realiza una tabla para ver los valores máximos de las diferentes tensiones de von mises que aparecen en cada simulación.

Radio punzón – Separación (mm)	Valor máx ($\times 10^2$ MPa)	
	Comienzo	Durante
0,1 - 0,1	3,636	6,311
0,1 - 0,2	3,530	6,388
0,1 - 0,4	3,383	6,567
0,2 - 0,1	3,521	6,311
0,2 - 0,2	3,449	6,734
0,2 - 0,4	3,510	6,778
0,4 - 0,1	3,366	6,323
0,4 - 0,2	3,328	6,766
0,4 - 0,4	3,425	6,490

Figura 4.98. Tabla de los valores máximos de las tensiones de von mises

Teniendo en cuenta los valores máximos y los gradientes de tensiones de von Mises, se decidirá cuál es la geometría óptima variando entre el radio del punzón y la separación entre el punzón y la matriz.

Viendo por encima el cuadro de tensiones de von Mises con las diferentes geometrías, se puede observar que todas las tensiones, ya sea al comienzo del troquelado del punzón con la pieza en el instante que entran en contacto ambas como durante el troquelado justo en el instante en el que comienzan a desaparecer elementos de la pieza, son casi idénticas en todas las simulaciones.

El tener todas las tensiones parecidas con todas las geometrías del radio del punzón y la separación entre dicho punzón y la matriz, puede ser una ventaja, ya que en este caso se puede jugar con la elección de las geometrías conforme más convenga para que encuadren todos los ensayos.

En este caso, viendo el ensayo anterior en el que se ha escogido radio de acuerdo del punzón de 0,2 mm y 0,1 mm de separación entre punzón y

matriz, se puede escoger perfectamente la misma geometría sin tener ningún tipo de problema. Además como se ha explicado antes, cuanto menor separación haya entre piezas, menos diagonal es la grieta de rotura, lo cual conlleva un mejor acabado.

Daño “DAMAGE”

En este apartado, se observa el daño que sufre la pieza en los diferentes ensayos con los diferentes ensayos, variando el radio del punzón y la separación entre matriz superior y punzón, como se viene haciendo anteriormente. Se tendrá en cuenta la zona de la pieza que está en contacto con el radio del punzón, y a parte, se observará el diferente daño que sufre la pieza según el valor de la separación entre punzón y matriz superior, si afecta en mayor o menor medida cuanto más separación haya entre dichas piezas.

Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz y punzón de 0,1 mm

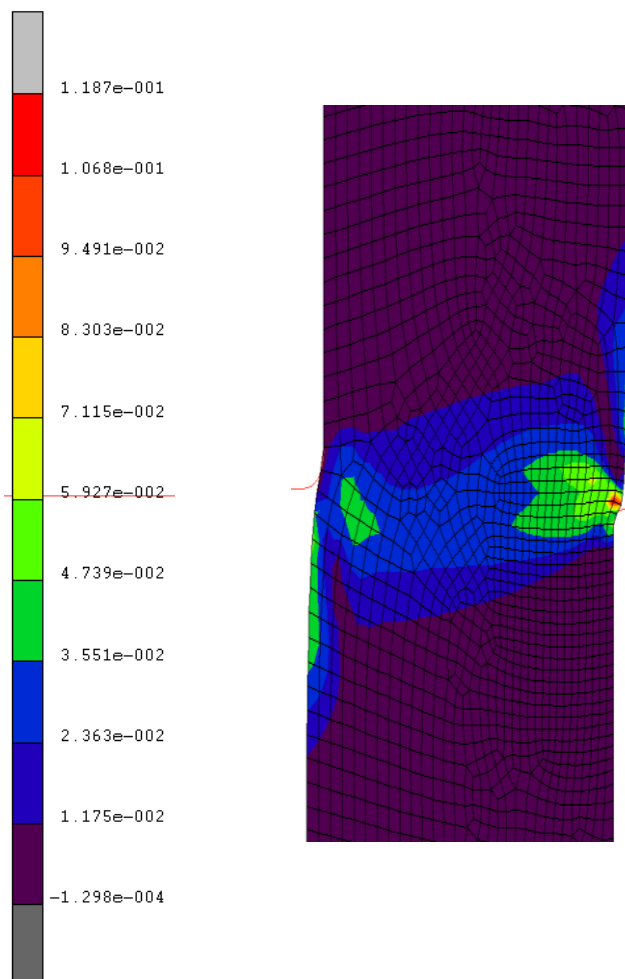


Figura 4.99 a.

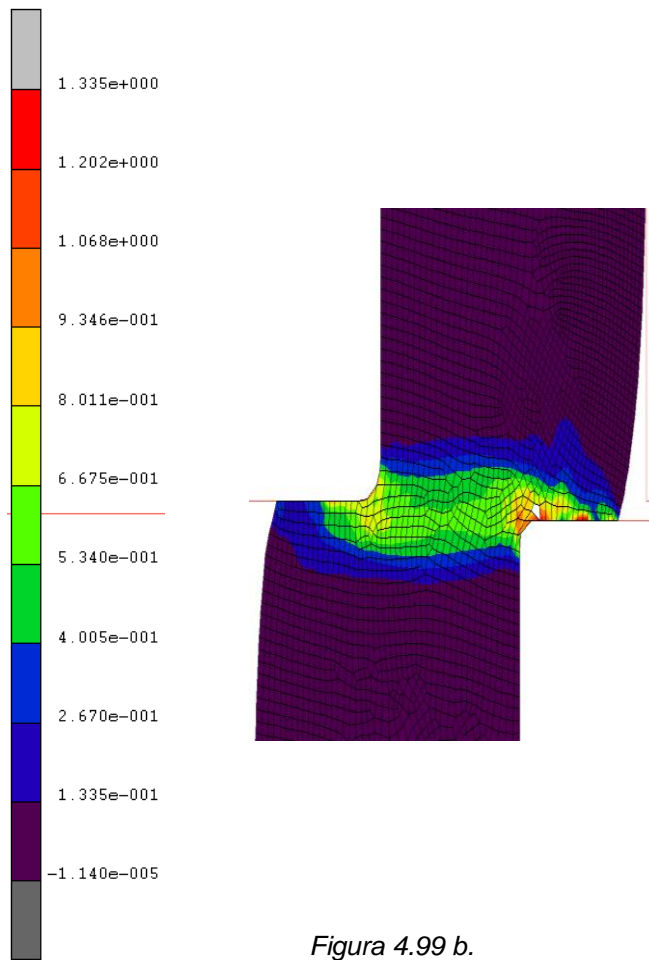


Figura 4.99 b.

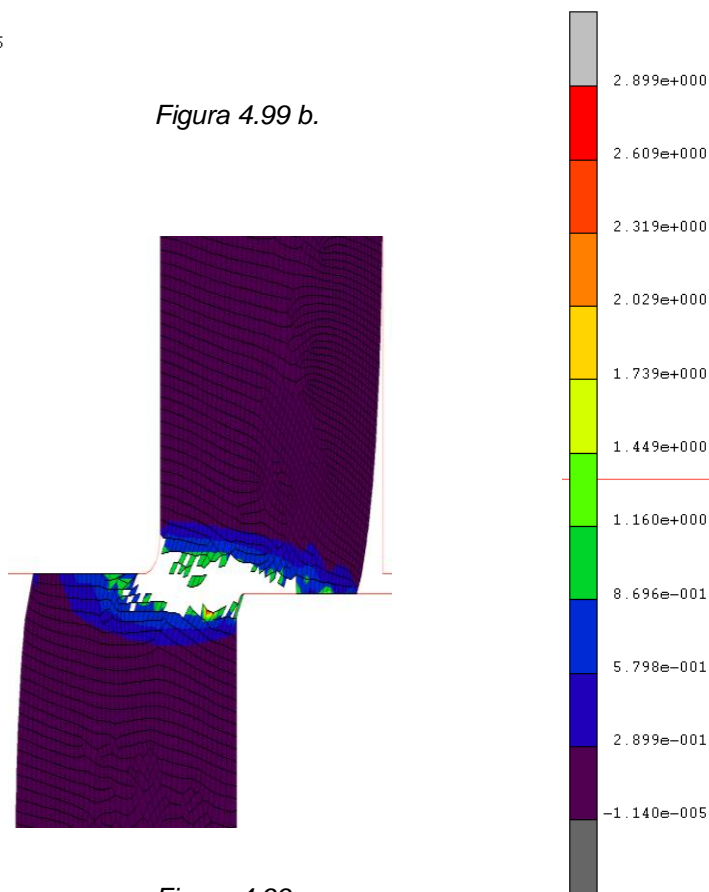


Figura 4.99 c.

Figura 4.99. Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,1 mm

Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz y punzón de 0,2 mm

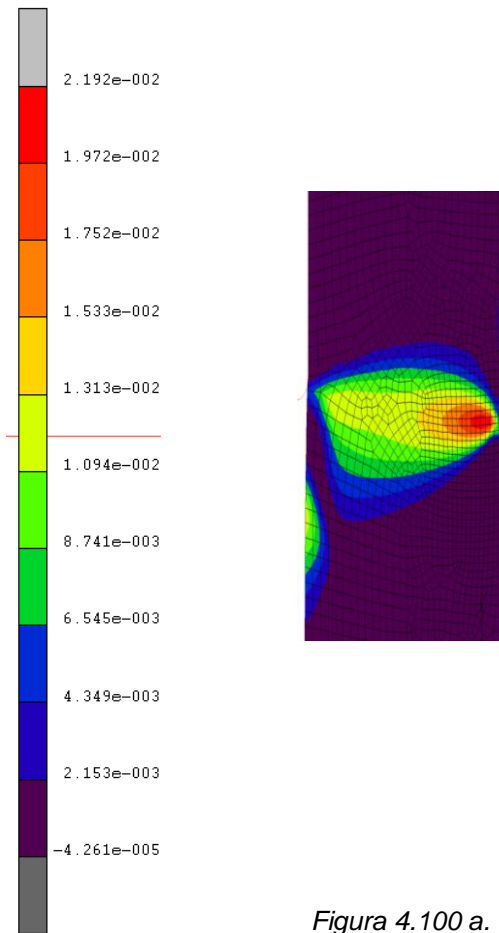


Figura 4.100 a.

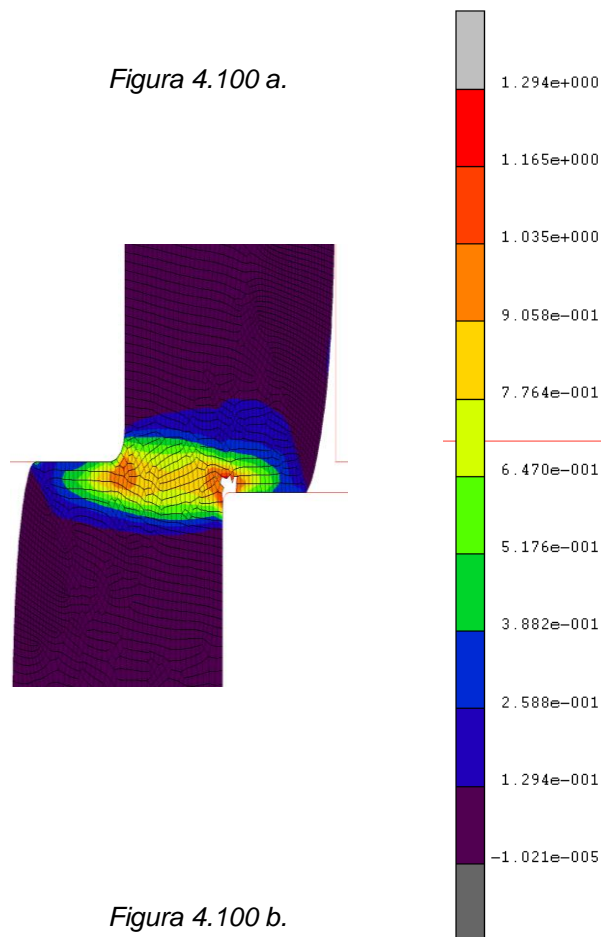


Figura 4.100 b.

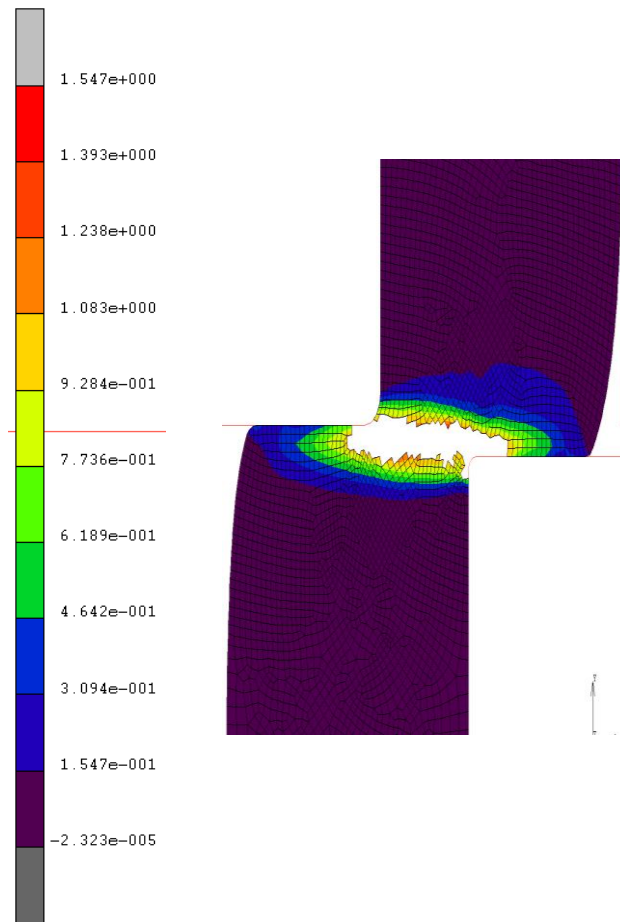


Figura 4.100 c.

Figura 4.100. Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,2 mm

Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz y punzón de 0,4 mm

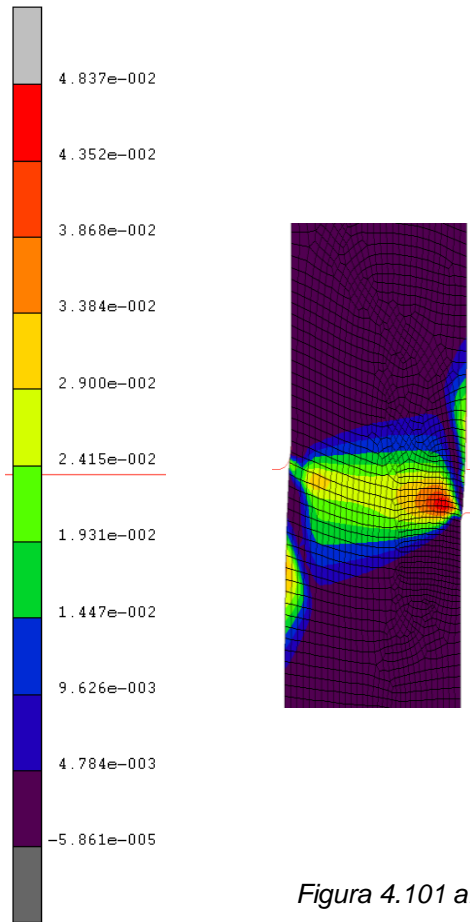


Figura 4.101 a.

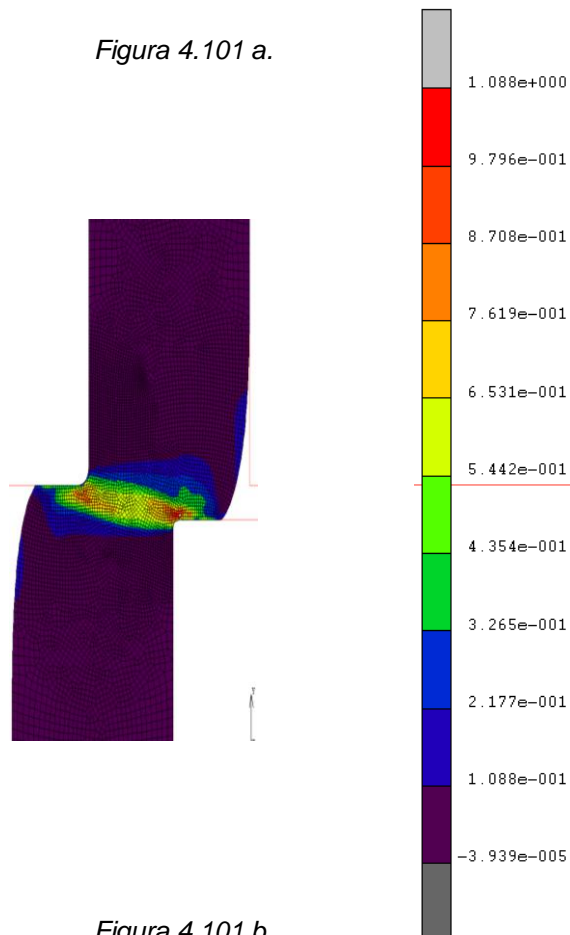


Figura 4.101 b.

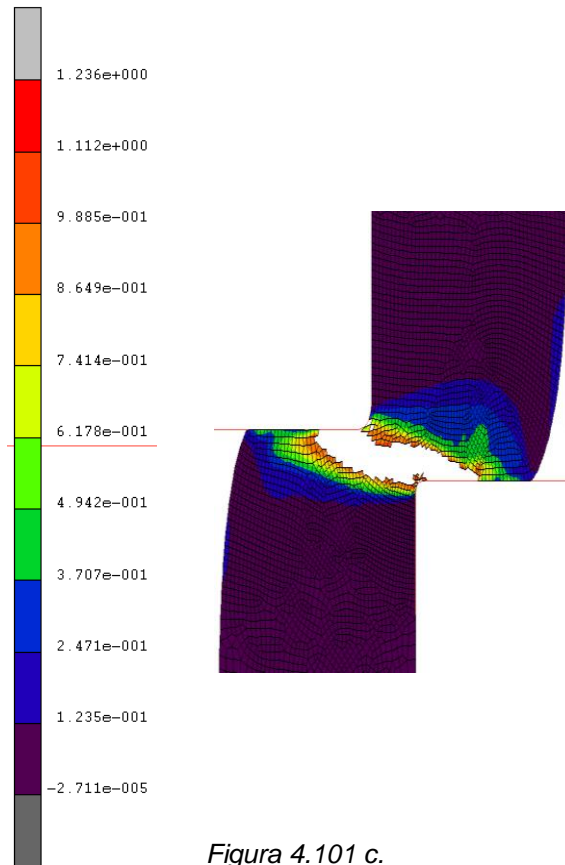


Figura 4.101 c.

Figura 4.101. Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,4 mm

Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz y punzón de 0,1 mm

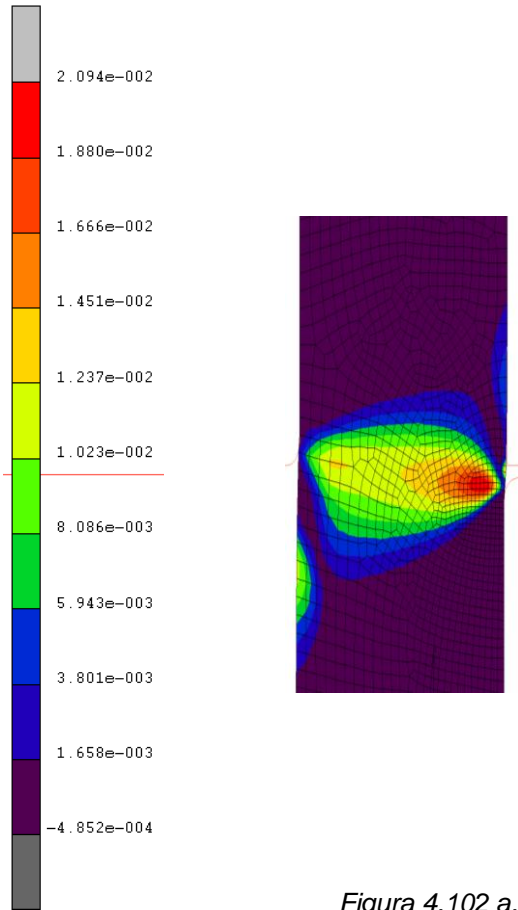


Figura 4.102 a.

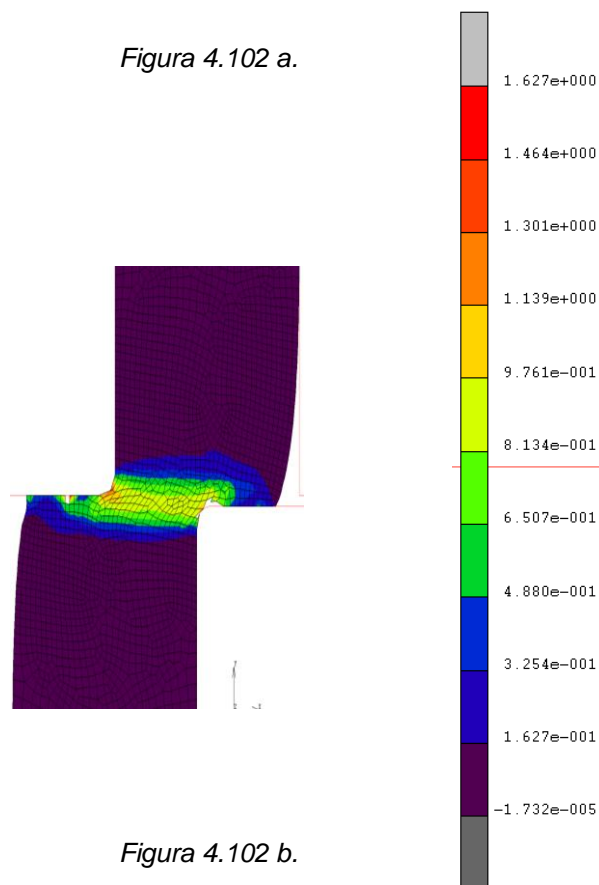


Figura 4.102 b.

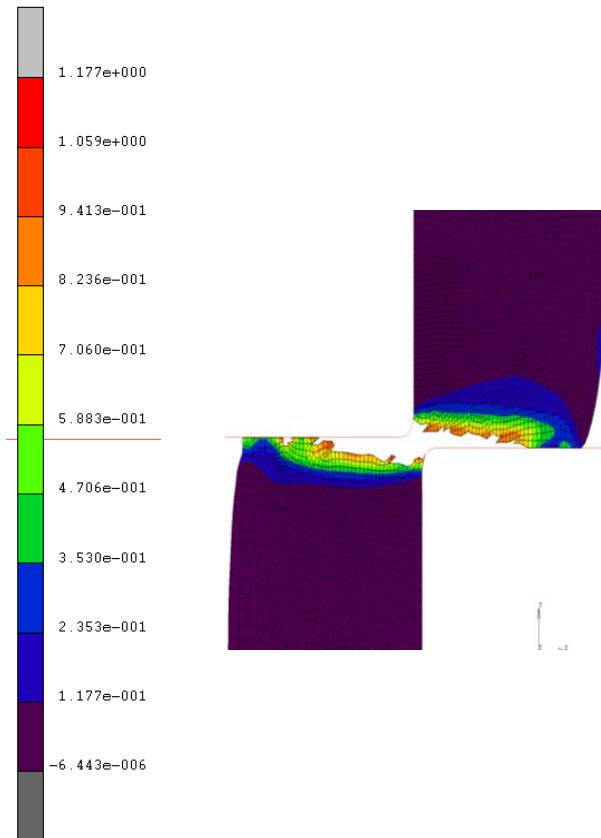


Figura 4.102 c.

Figura 4.102. Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,1 mm

Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz y punzón de 0,2 mm

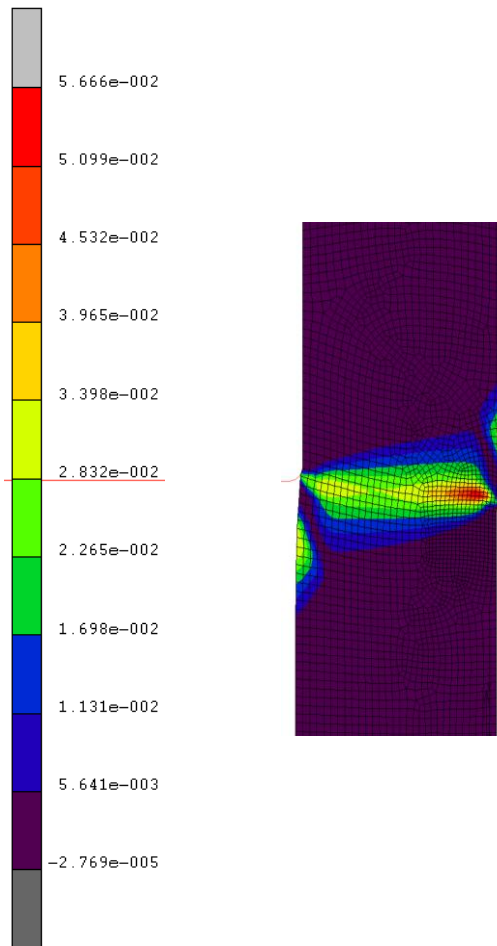


Figura 4.103 a.

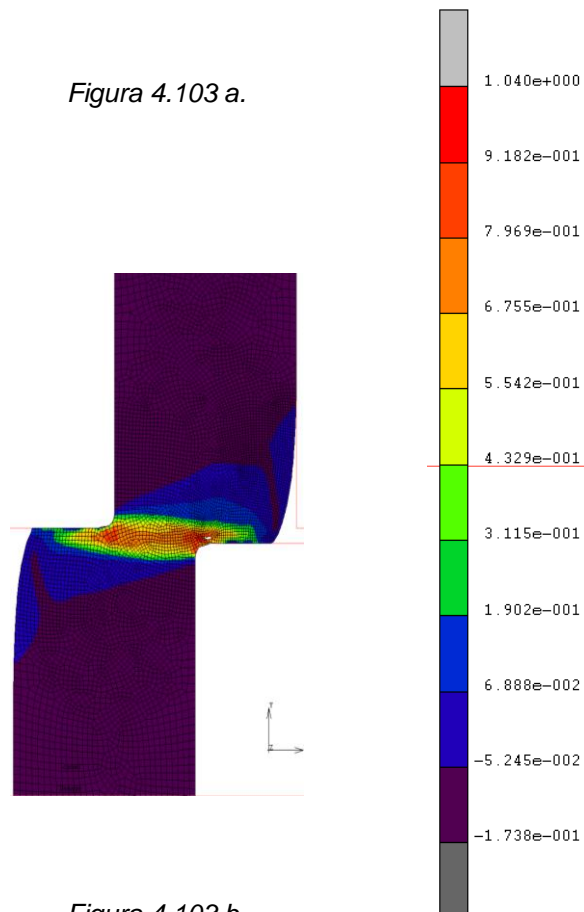


Figura 4.103 b.

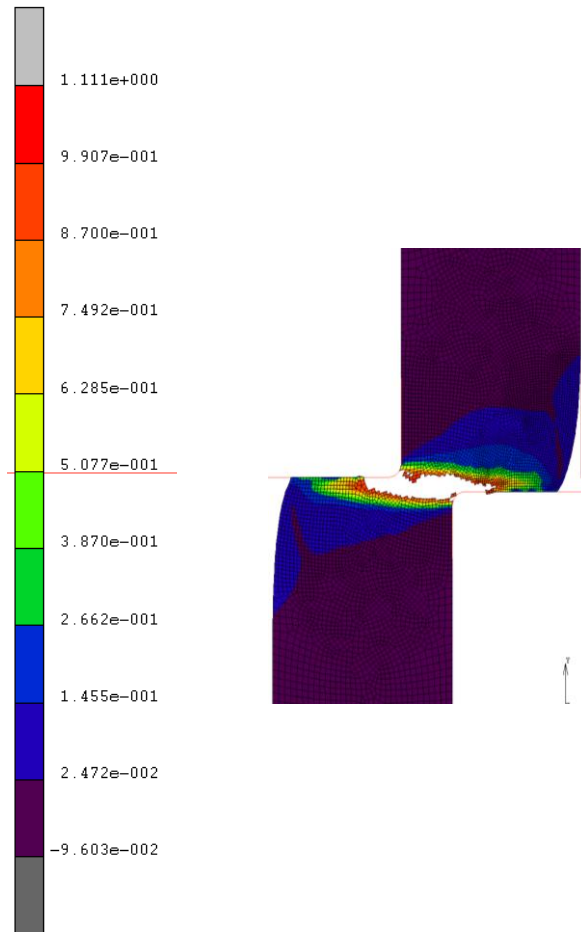


Figura 4.103 c.

Figura 4.103. Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,2 mm

Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz y punzón de 0,4 mm

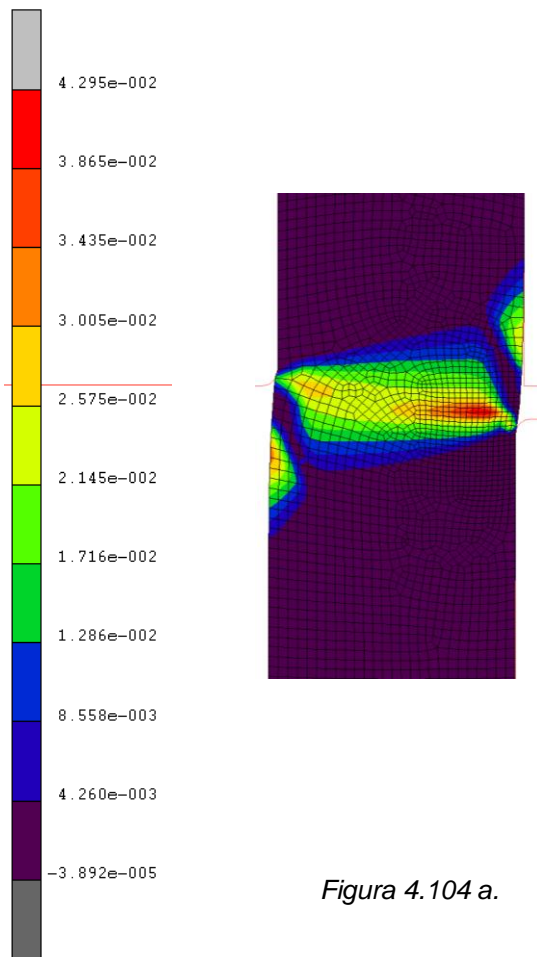


Figura 4.104 a.

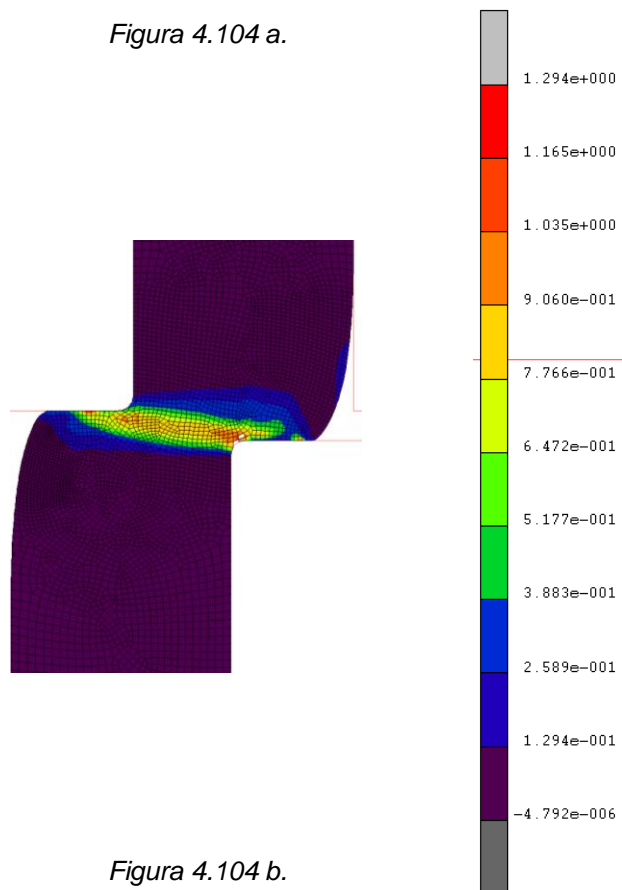


Figura 4.104 b.

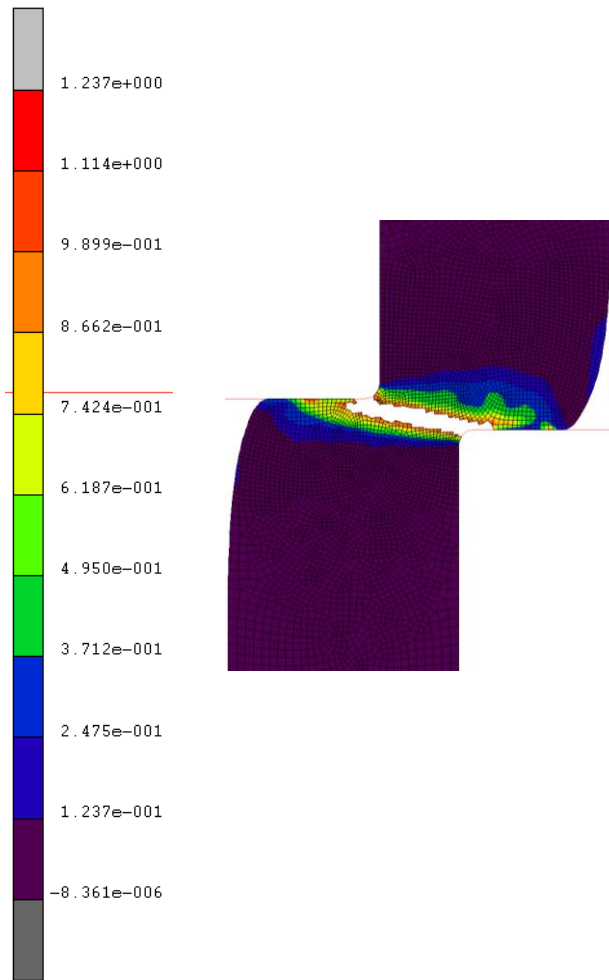


Figura 4.104 c.

Figura 4.104. Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,4 mm

Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz y punzón de 0,1 mm

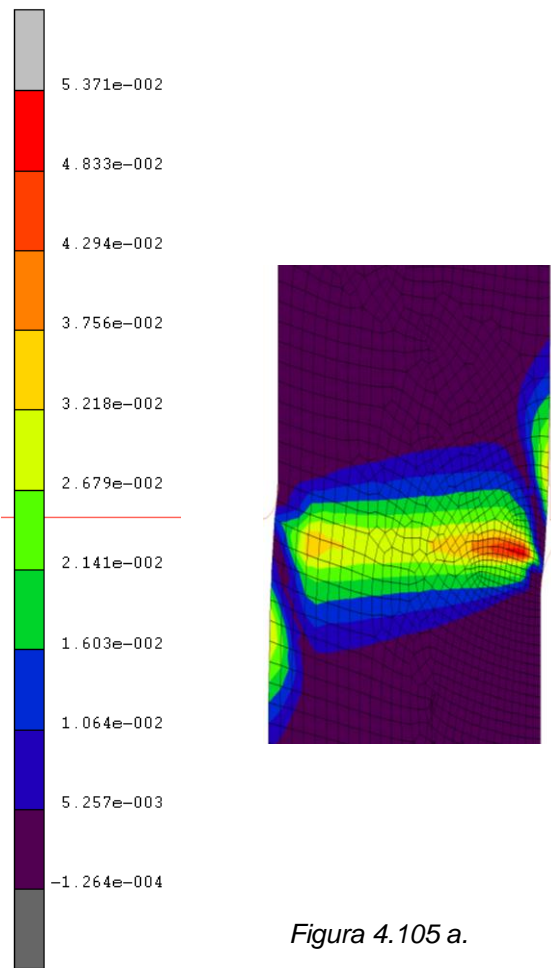


Figura 4.105 a.

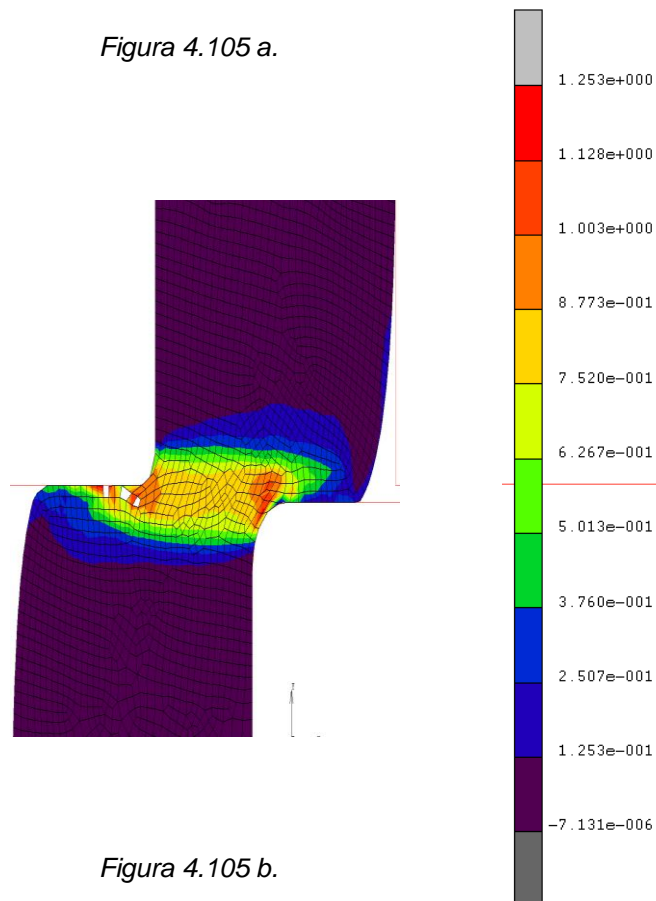


Figura 4.105 b.

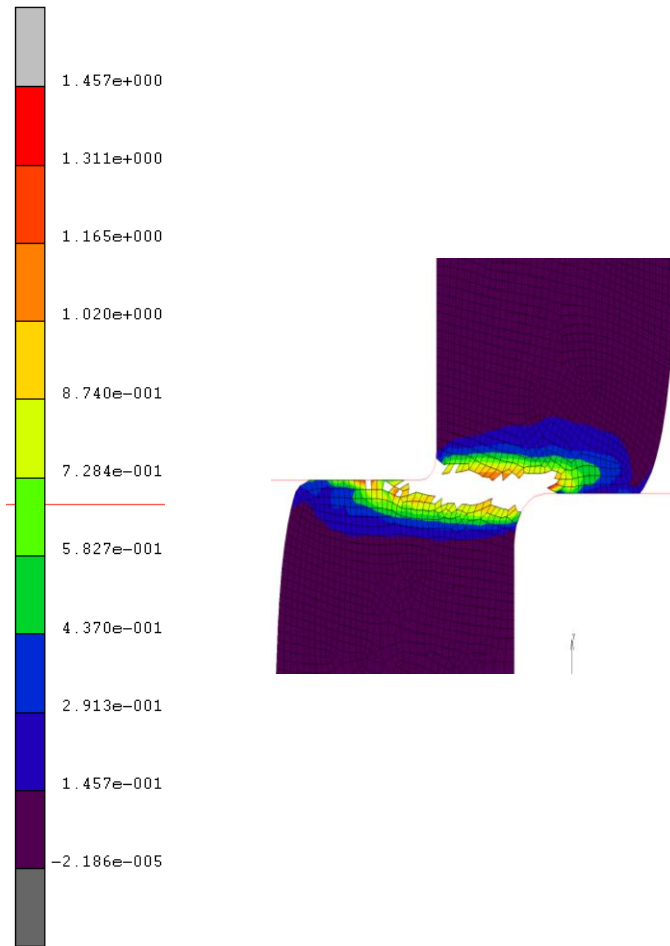


Figura 4.105 c.

Figura 4.105. Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,1 mm

Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz y punzón de 0,2 mm

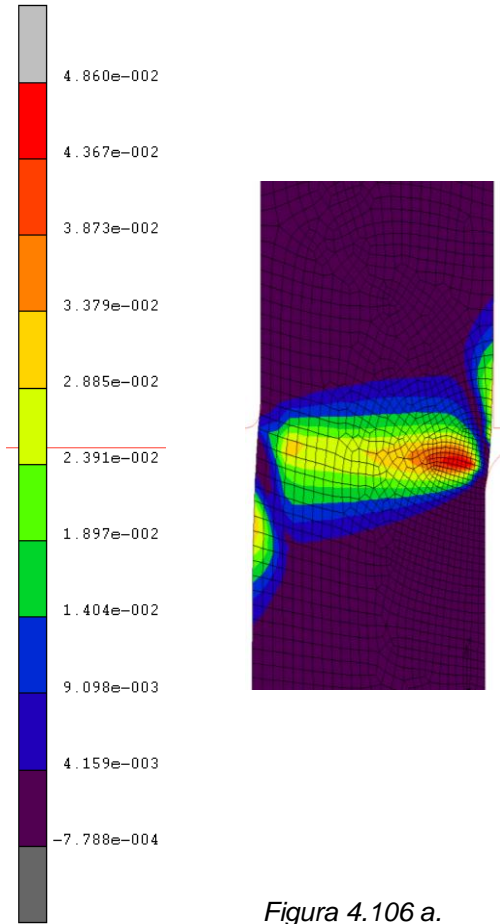


Figura 4.106 a.

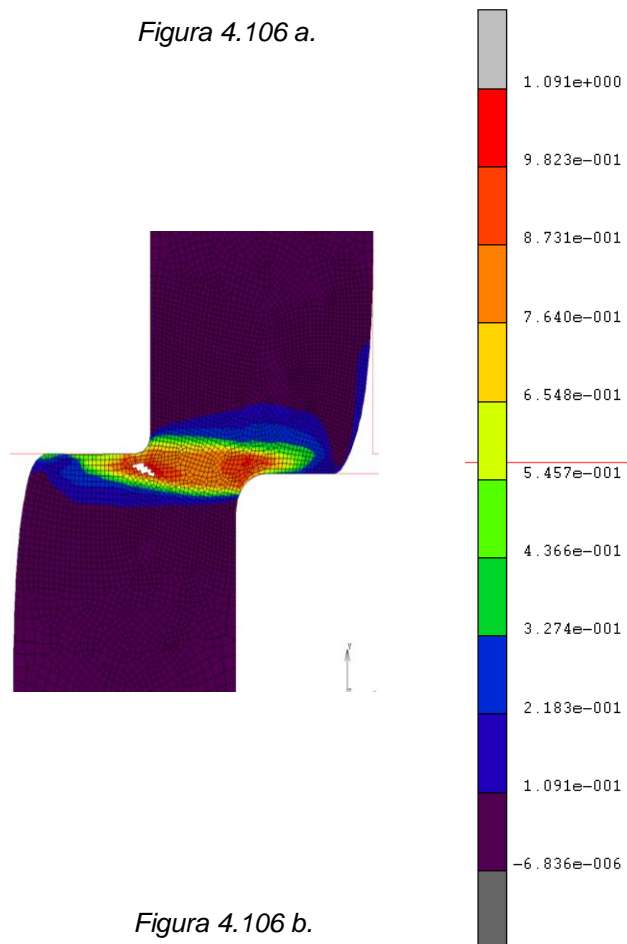


Figura 4.106 b.

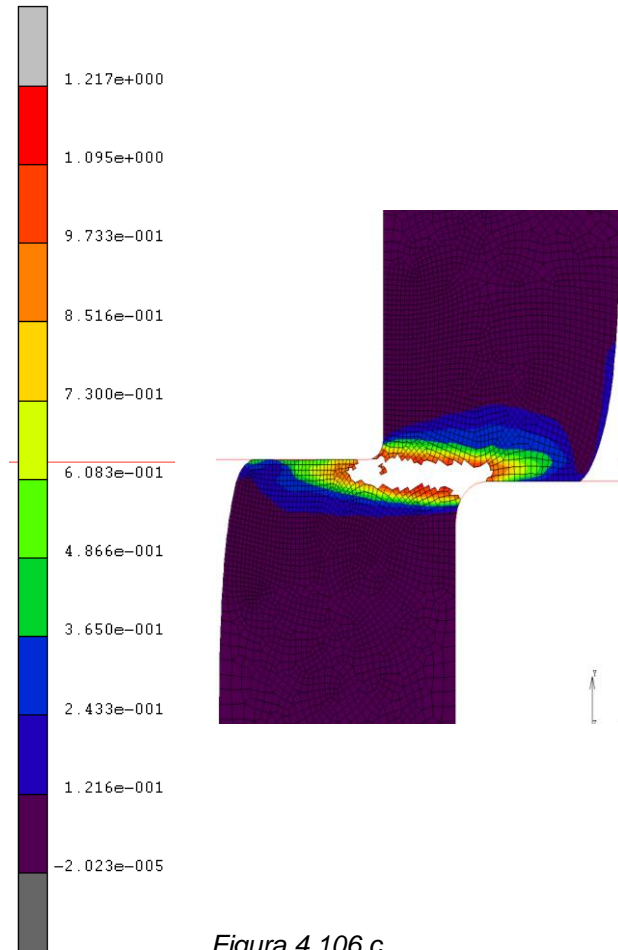


Figura 4.106 c.

Figura 4.106. Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,2 mm

Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz y punzón de 0,4 mm

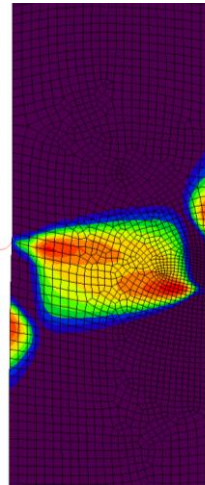
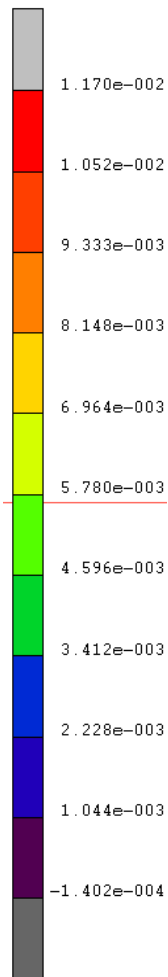


Figura 4.107 a.

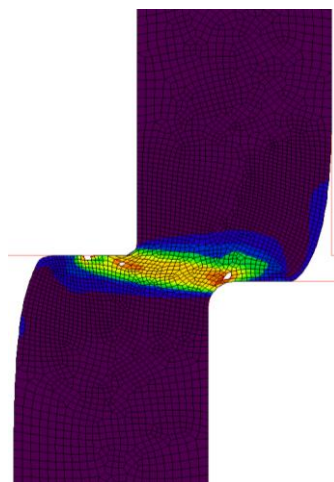
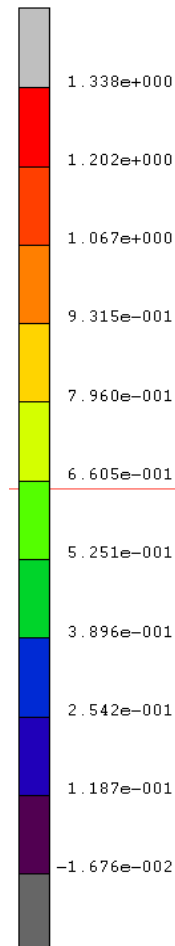


Figura 4.107 b.

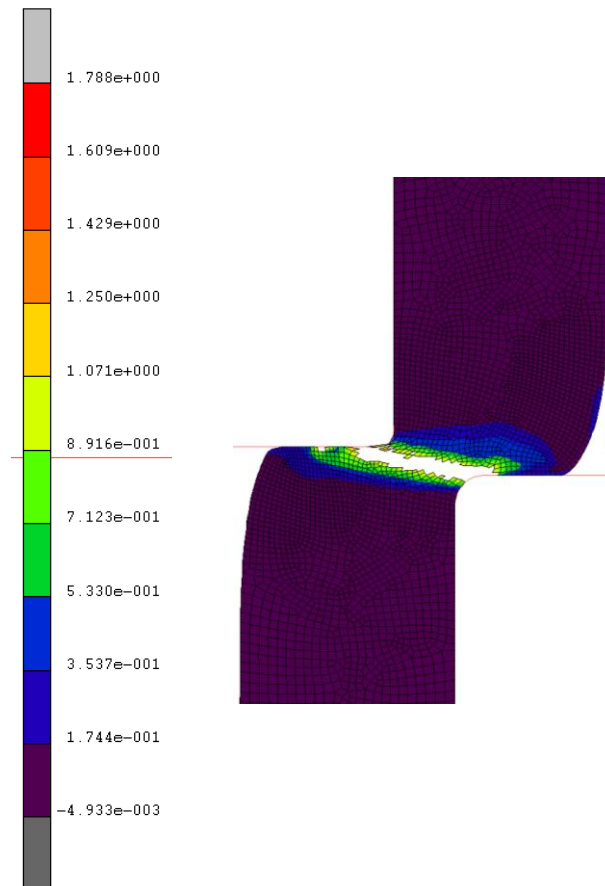


Figura 4.107 c.

Figura 4.107. Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz superior y punzón de 0,4 mm

Después de haber realizado las 9 simulaciones del troquelado de los orificios, se centra en el tercer ensayo que en este caso trata del daño que va a sufrir la pieza en sus puntos más característicos “DAMAGE”.

Una vez realizados los ensayos, se pasa a estudiar los resultados obtenidos con datos numéricos que el programa nos proporciona.

Para la elección de la geometría óptima, se fijará en los valores máximos que alcanza la pieza en los puntos críticos, y en la zona o gradiente de dicho valor máximo, ya que en unos pueden ser más pequeños y en otros se puede alargar más a lo largo de la pieza.

Se pasa a crear la siguiente tabla como ya se ha hecho anteriormente en las diferentes simulaciones para ver más claramente los valores más altos y los más bajos.

Radio punzón – Separación (mm)	Valor máx	
	Comienzo ($\times 10^{-2}$)	Durante
0,1 - 0,1	9,491	1,068
0,1 - 0,2	1,752	1,035
0,1 - 0,4	3,868	0,871
0,2 - 0,1	1,666	0,976
0,2 - 0,2	4,532	0,797
0,2 - 0,4	3,435	0,906
0,4 - 0,1	4,294	1,003
0,4 - 0,2	3,873	0,873
0,4 - 0,4	0,933	1,067

Figura 4.108. Tabla de los valores máximos de daño

Como se puede observar, al comienzo de la simulación, los valores son muy pequeños, del orden de 10^{-2} , ya que es el momento en el que el punzón hace contacto con la pieza, por lo que sólo se va a pasar a estudiar el instante donde los elementos empiezan a ser eliminados

Después de haber visto las fotos sobre el ensayo de “DAMAGE”, se puede observar a simple vista que los valores rondan el valor unidad, variando entre el intervalo [0,797 - 1,068] es decir, todos los valores están comprendidos en 0,271 lo cual puede ser una ayuda a la hora de encuadrar los tres ensayos de deformación plástica, tensión de von mises y el daño producido en la pieza.

A modo de dato, el mayor daño que se produce en la pieza al durante el troquelado de los agujeros, o más concreto, al comienzo de la eliminación de elementos, es con radio de acuerdo en el punzón de 0,1 mm y una separación entre punzón y matriz de 0,1 mm. El menor daño en este caso se produce con la geometría de radio de acuerdo en el punzón de 0,2 mm y una separación de 0,2 mm.

Viendo las fotografías, no se puede sacar una conclusión clara sobre los gradientes de daño en la pieza, puesto que más o menos todas las distribuciones de daño sobre la pieza, siguen una forma igual. Está claro que los puntos máximos de daño en la pieza son donde entran en contacto el punzón con la pieza, y el radio de acuerdo donde dicha pieza se apoya en la matriz inferior para ser troquelada.

Como se ha dicho en ensayos anteriores, cuanto más separación exista entre punzón y matriz inferior, mayor diagonal de daño se produce en la pieza y peor acabado uniforme a lo largo del troquelado del agujero. Los valores

máximos se dan en la periferia del corte, mientras que en el resto de la pieza, los valores son muy pequeños como para provocar grietas en el material.

Por último, y gracias a que los valores llegan a ser muy parecidos en todas las simulaciones, se va a poder encuadrar de forma exitosa las geometrías de todos los ensayos, siendo en este caso con un radio de acuerdo en el punzón de 0,2 mm y 0,1 mm de separación entre el punzón y la matriz.

Fuerza que ejerce el punzón

En el siguiente apartado, se va a reflejar la fuerza que ejerce el punzón al cortar la pieza. Se mide en Newtons.

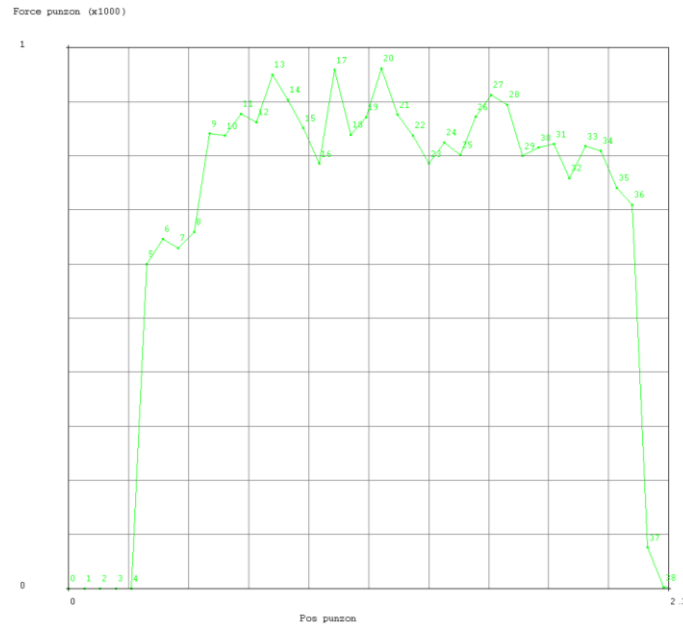


Figura 4.109. Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz y punzón de 0,1 mm

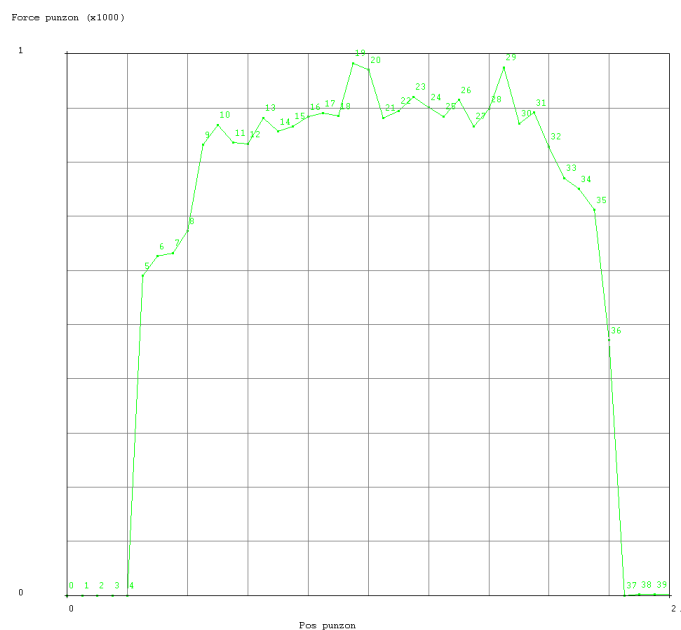


Figura 4.110. Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz y punzón de 0,2 mm

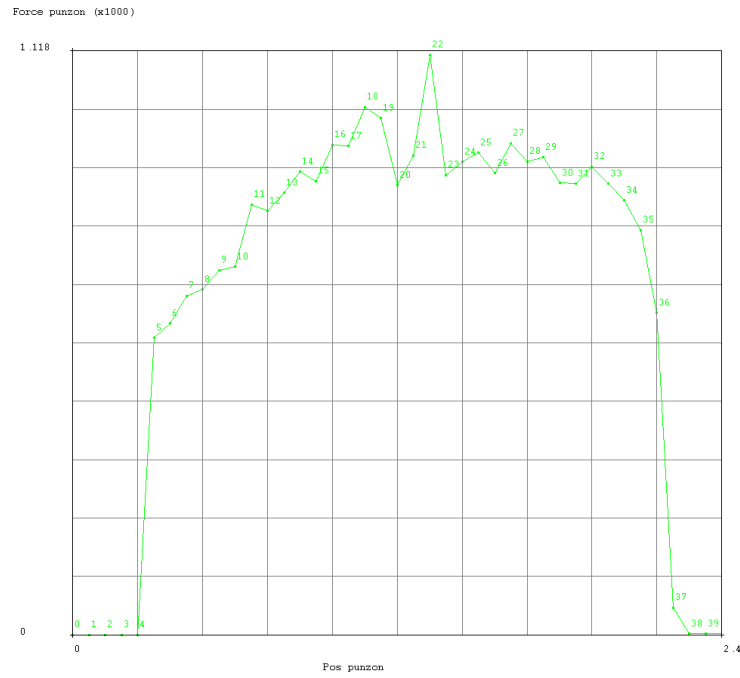


Figura 4.111. Radio punzón 0,1 mm con separación entre matriz y punzón de 0,4 mm

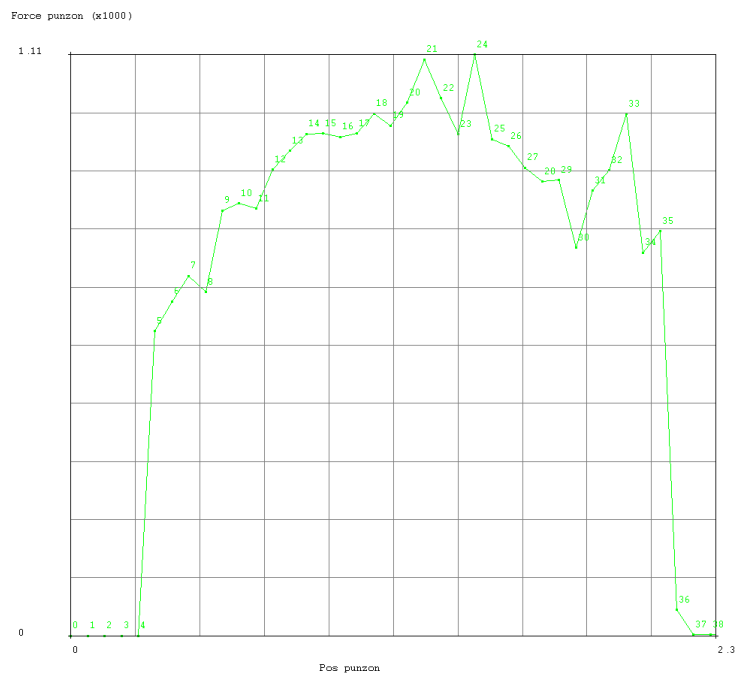


Figura 4.112. Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz y punzón de 0,1 mm

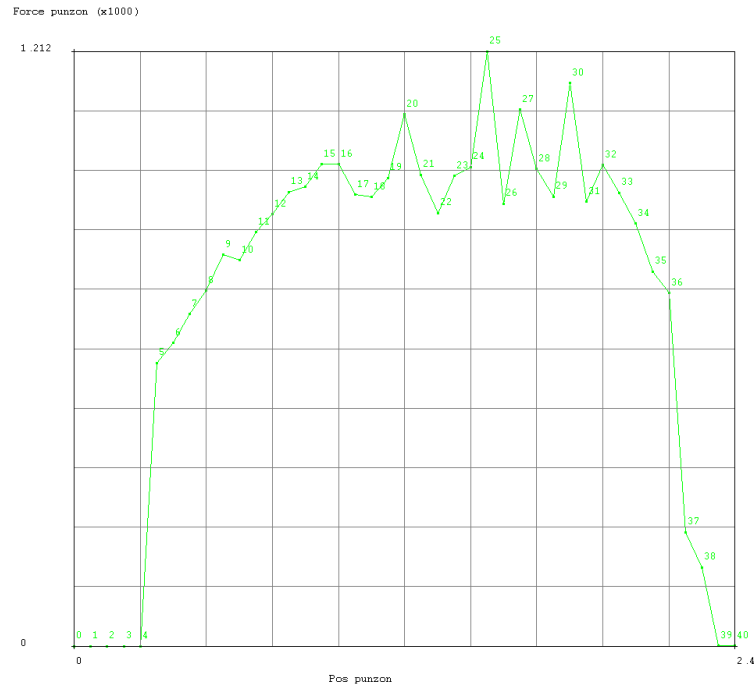


Figura 4.113. Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz y punzón de 0,2 mm

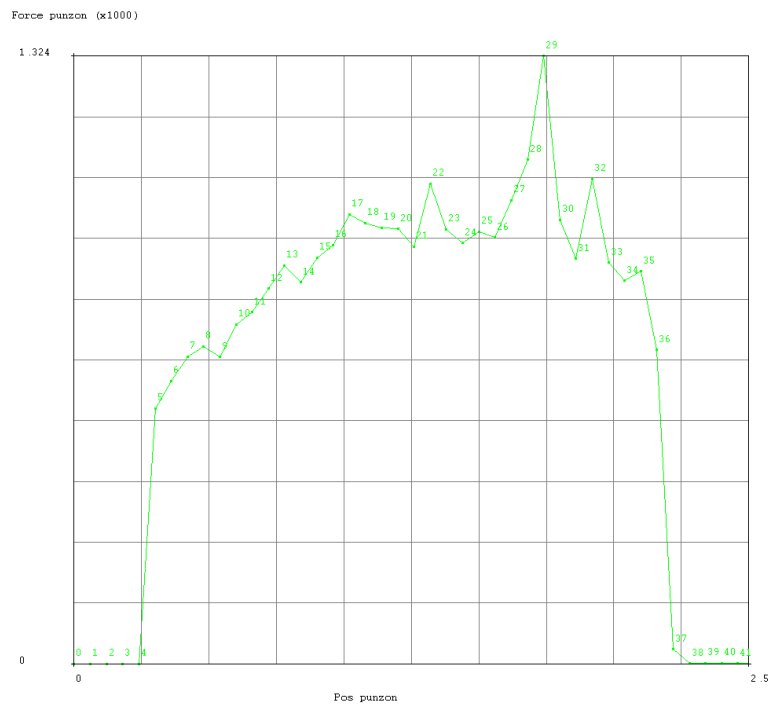


Figura 4.114. Radio punzón 0,2 mm con separación entre matriz y punzón de 0,4 mm

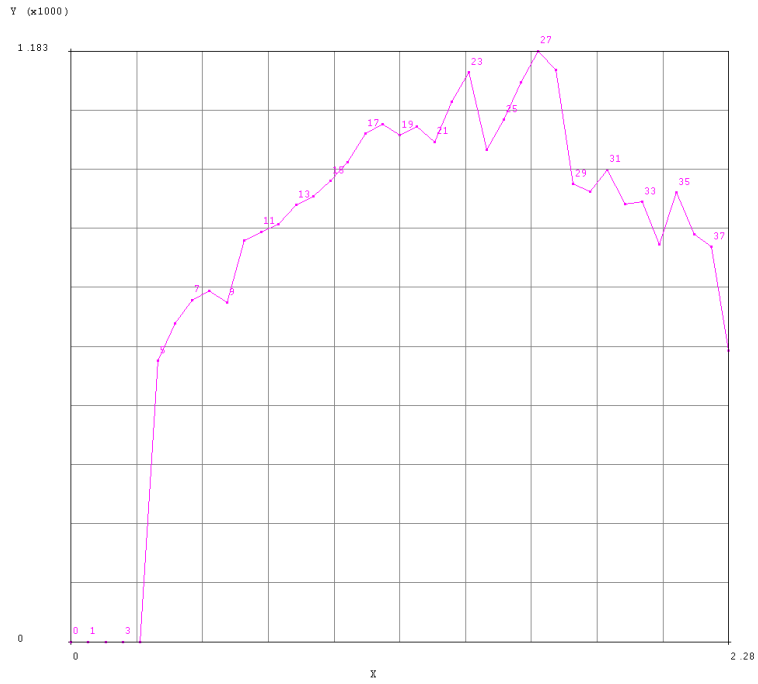


Figura 4.115. Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz y punzón de 0,1 mm

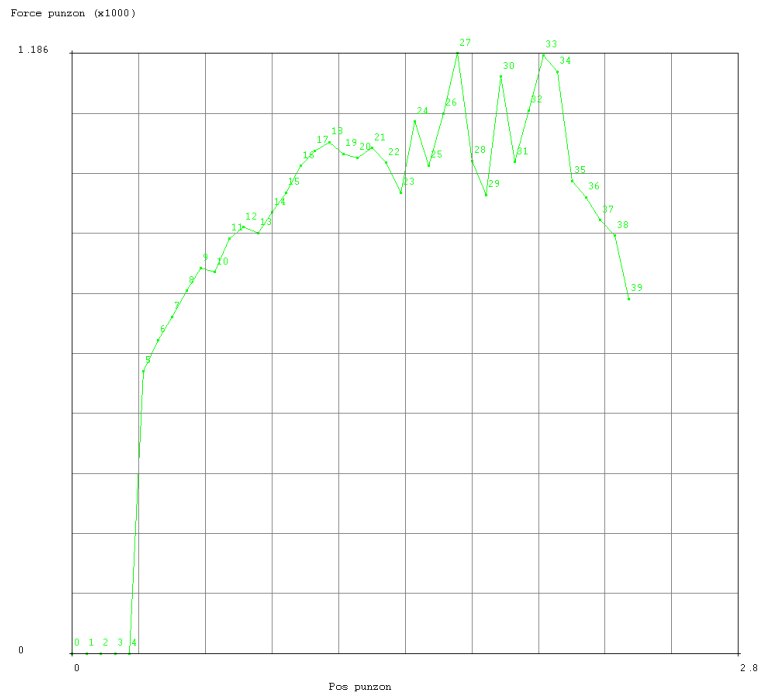


Figura 4.116. Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz y punzón de 0,2 mm

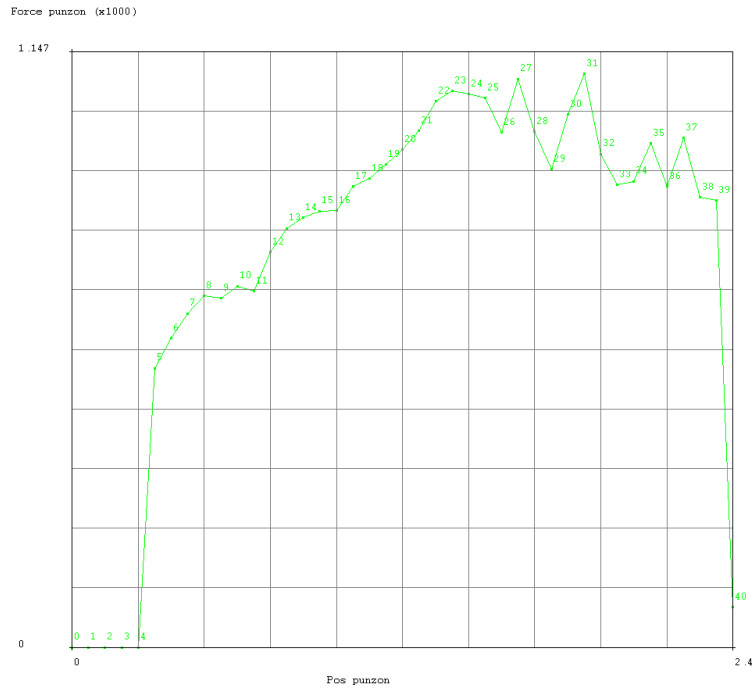


Figura 4.117. Radio punzón 0,4 mm con separación entre matriz y punzón de 0,4 mm

En la siguiente tabla se exponen los valores máximos que alcanza la matriz superior en el proceso de estampación de los orificios laterales.

Radio punzón – Separación (mm)	Valor máx ($\times 10^3$ N)
0,1 - 0,1	0,960
0,1 - 0,2	0,980
0,1 - 0,4	1,112
0,2 - 0,1	1,110
0,2 - 0,2	1,212
0,2 - 0,4	1,324
0,4 - 0,1	1,183
0,4 - 0,2	1,186
0,4 - 0,4	1,147

Figura 4.118. Tabla de valores máximos de fuerza que ejerce el punzón sobre la pieza

Como se puede observar, todos los gráficos tienen una forma similar, lo cual nos indica se fijará en los valores máximos para terminar de decidir que ensayo es el óptimo.

Al observar los valores máximos, se puede ver que el valor más pequeño es con radio de acuerdo en el punzón, de 0,1 mm y separación entre punzón y matriz superior de 0,1 mm. Se puede guiar por estos datos aunque son muy parecidos y no debería haber ningún tipo de problema en elegir cualquiera si se guía por la fuerza que ejerce el punzón.

Siguiendo con la misma teoría de encuadramiento de ensayos, se puede aplicar a la fuerza que ejerce el punzón, ya que en la geometría que se va a elegir finalmente con radio de acuerdo en el punzón de 0,2 mm y separación entre punzón y matriz superior de 0,1 mm es muy parecida al valor mínimo de todos los ensayos, pasando de $0,960 \times 10^3$ N, a $1,110 \times 10^3$ N.

Conclusiones sobre corte de los orificios laterales

Para concluir con el ensayo de troquelado de los orificios, se va a pasar a juntar las ideas de los distintos ensayos.

Como se ha visto en el ensayo de deformación plástica equivalente “TOTAL EQUIVALENT PLASTIC STRAIN”, la geometría más óptima que se le puede dar a la pieza es la radio de acuerdo en el punzón, de 0,2 mm y separación entre punzón y matriz superior de 0,1 mm puesto que con la separación máxima en este caso de 0,4 mm salían valores demasiado altos.

En el ensayo de tensión de von mises “EQUIVALENT VON MISES STRESS” también se ha optado por elegir esa geometría puesto que se puede observar que todas las tensiones, ya sea al comienzo del troquelado del punzón con la pieza en el instante que entran en contacto ambas, como durante el troquelado justo en el instante en el que comienzan a desaparecer elementos de la pieza, son casi idénticas en todas las simulaciones asimismo sus gradientes y sus distribuciones.

Con forme al daño “DAMAGE”, se ha visto que los resultados son bastante parecidos, con lo que se concluyó que para cuadrar los tres ensayos, se optaría por coger la misma geometría que los otros dos ensayos de deformaciones plásticas y tensiones.

Sobre la fuerza que ejerce el punzón sobre la pieza, pasa lo mismo que en daño, todos los valores rondan los 1000 N, por lo que nuestra geometría final no se escapa de los límites, tendiendo a ser además de las fuerzas más bajas.

A modo de conclusión y para finalizar el ensayo sobre el troquelado de los orificios, se puede decir que se ha escogido la separación mínima que es la

que mejor acabado da a los agujeros sin exigir tanta diagonal entre los puntos de apoyo, y el radio de acuerdo del punzón de 0,2 mm, la geometría intermedia, ya que con la geometría mínima el punzón sufre demasiado y puede haber desgaste antes de tiempo y con la geometría mayor, las deformaciones plásticas salen demasiado elevadas y la fuerza que tiene que ejercer la matriz al troquelar los agujeros, son de las más elevadas también. Estos valores también se usarán para el corte de la periferia de la pieza.

Por tanto, la geometría óptima que se debe poner debe ser:

- Radio de acuerdo en el punzón de 0,2 mm.
- Separación entre punzón y matriz superior de 0,1 mm.

4.3 DESARROLLO Y RESULTADOS DEL MODELO 3D

Después de haber realizado el estudio y análisis de los procesos de forma plana, en 2D y por separado, se realiza gracias al potencial del programa utilizado en este proyecto MarcMentat una simulación en 3D de la estampación de los orificios laterales y el troquelado de dichos orificios para que quede aún más claro si cabe el proceso de las operaciones.

4.3.1 ESTAMPACIÓN DE LOS ORIFICIOS LATERALES

Al haber realizado en la forma plana en 2D con un eje de simetría Axysimetrico “AXYSIMETRIC”, se tiene la posibilidad de poder realizar un barrido de la pieza alrededor del eje en el que está contenido dicha simetría para ver la pieza o la operación en forma 3D mucho más compleja y más clara.

Las geometrías que se mostrarán a continuación sólo serán aquellas que se han definido como óptimas en el punto anterior, ya que ya se han estudiado fuerzas, gradientes, tensiones...

RESULTADOS OBTENIDOS

Deformación plástica equivalente “TOTAL EQUIVALENT PLASTIC STRAIN”

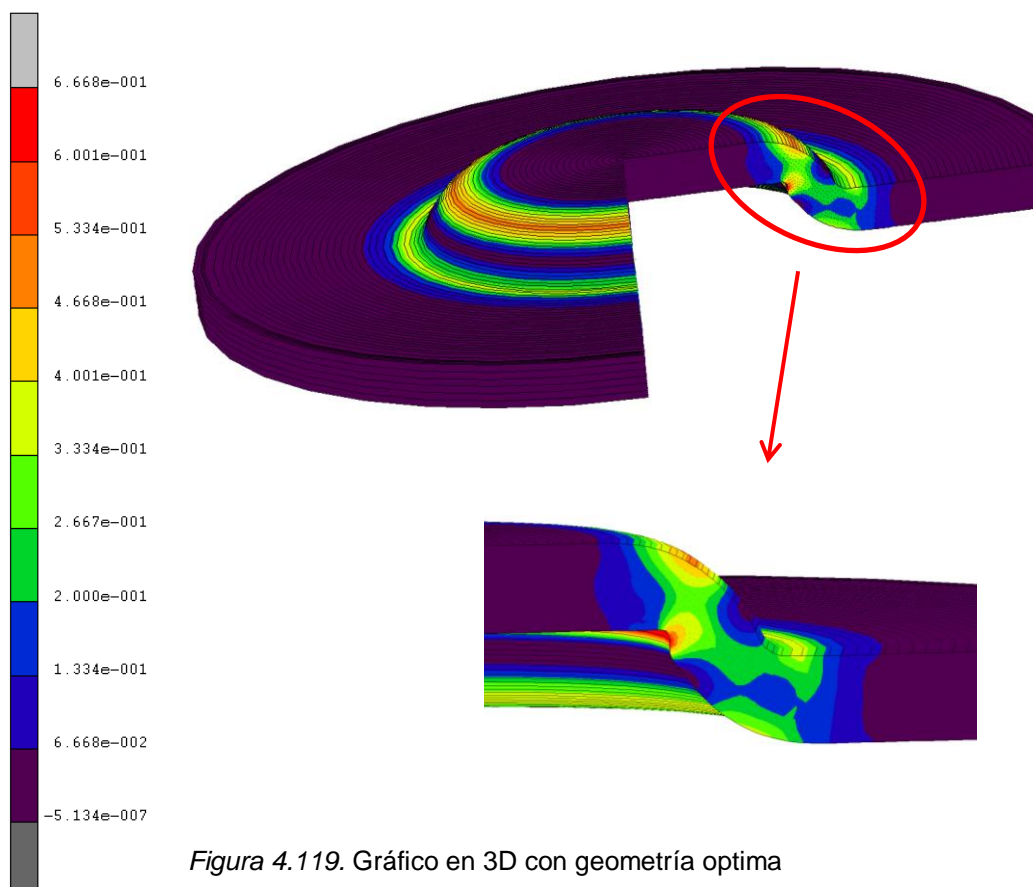


Figura 4.119. Gráfico en 3D con geometría optima

Tensión de von Mises "EQUIVALENT VON MISES STRESS"

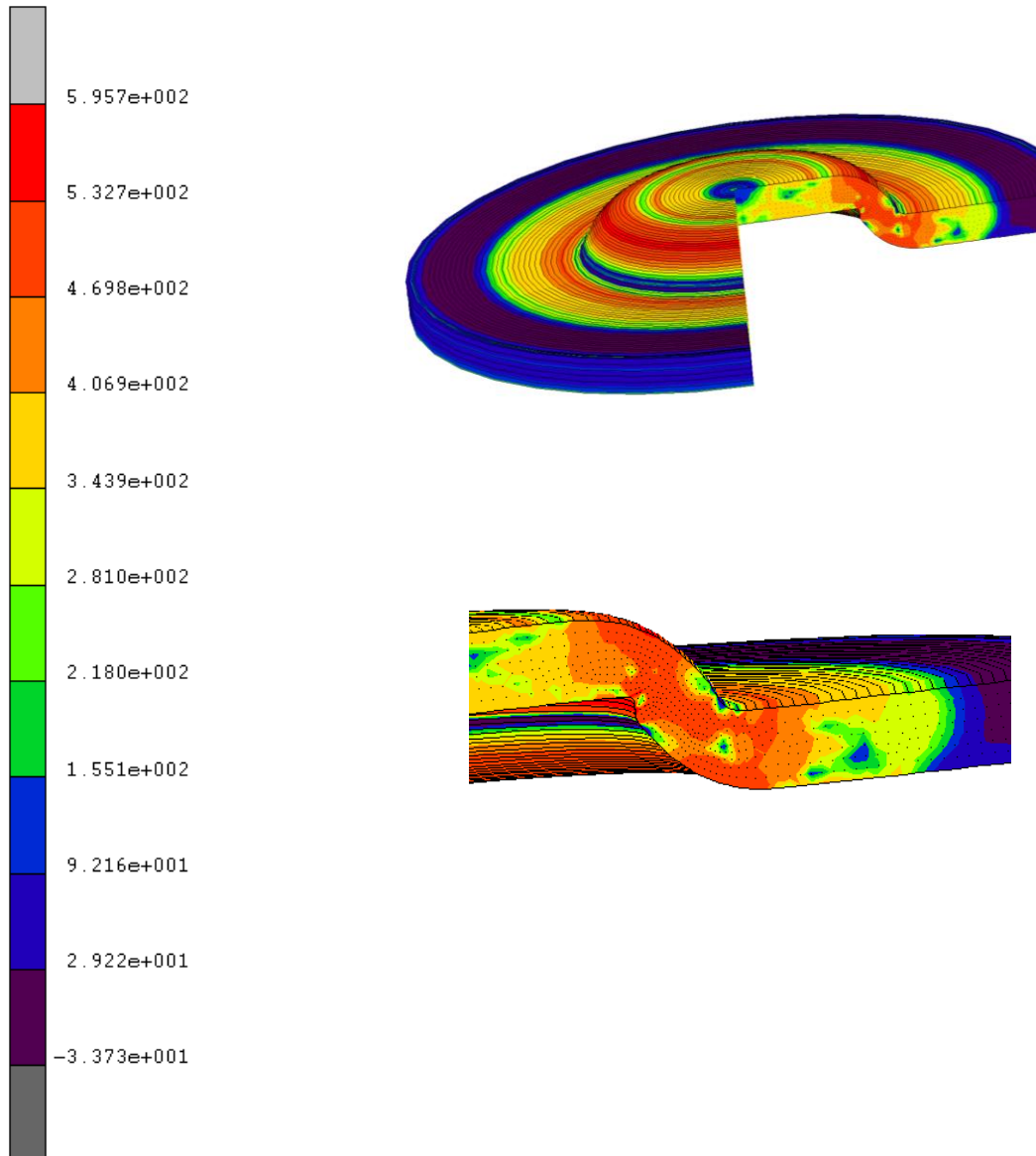


Figura 4.120. Gráfico en 3D con geometría optima

Damage "DAMAGE"

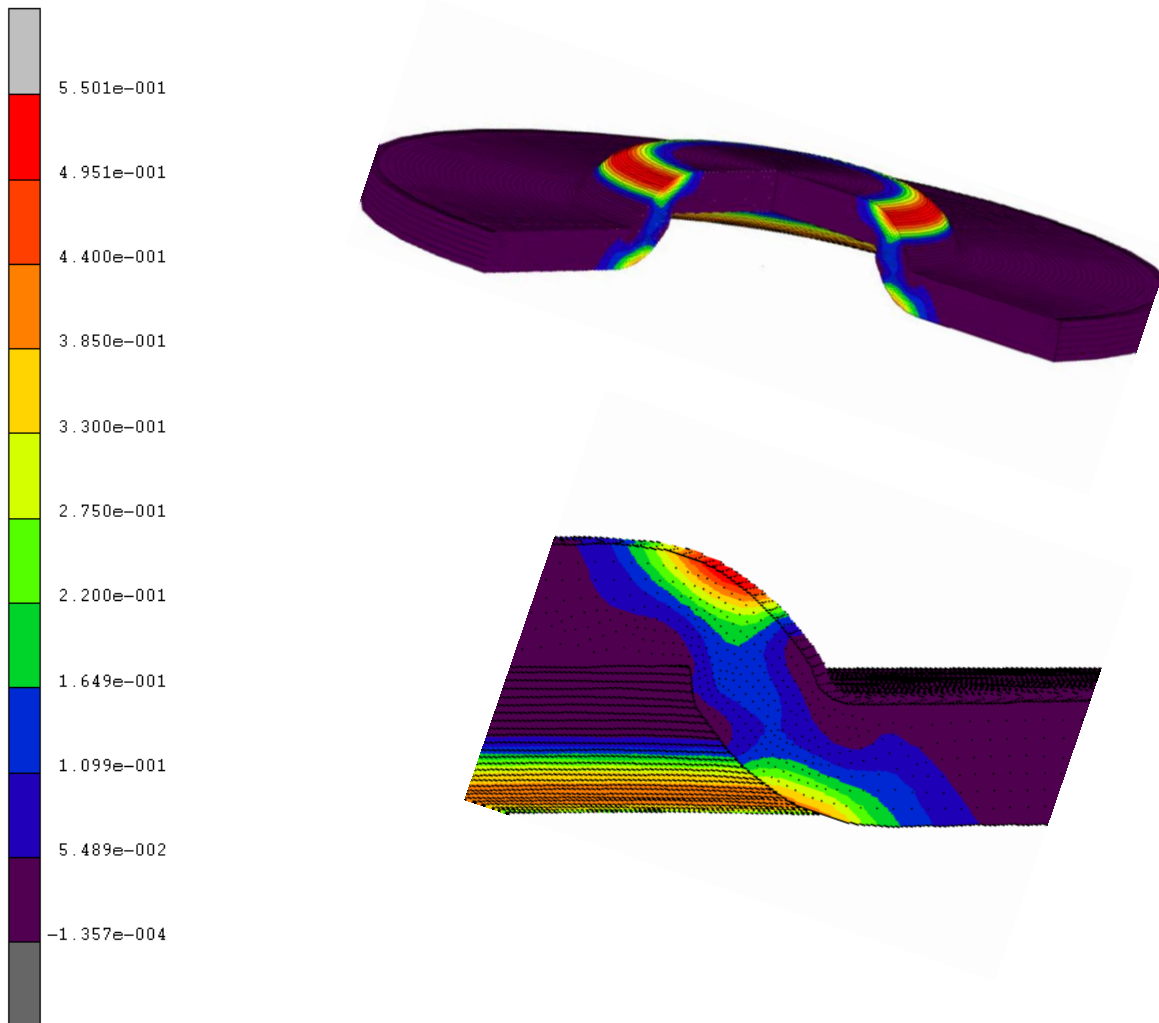


Figura 4.121. Gráfico en 3D con geometría optima

4.3.2 TROQUELADO DE LOS ORIFICIOS LATERALES

Al igual que el punto anterior, al haber realizado en la forma plana en 2D con un eje de simetría axysimétrico “AXYSIMETRIC”, se tiene la posibilidad de poder realizar un barrido de la pieza alrededor del eje en el que está contenido dicha simetría para ver la pieza o la operación en forma 3D mucho más compleja y más clara.

Las geometrías que se mostrarán a continuación sólo serán aquellas que se han definido como óptimas en el punto anterior, en el punto medio justo antes que haya rotura de la pieza, y al final de la misma, ya que ya se han estudiado fuerzas, gradientes, tensiones y demás magnitudes en dichos puntos.

RESULTADOS OBTENIDOS

Deformación plástica equivalente “TOTAL EQUIVALENT PLASTIC STRAIN”

En medio del proceso:

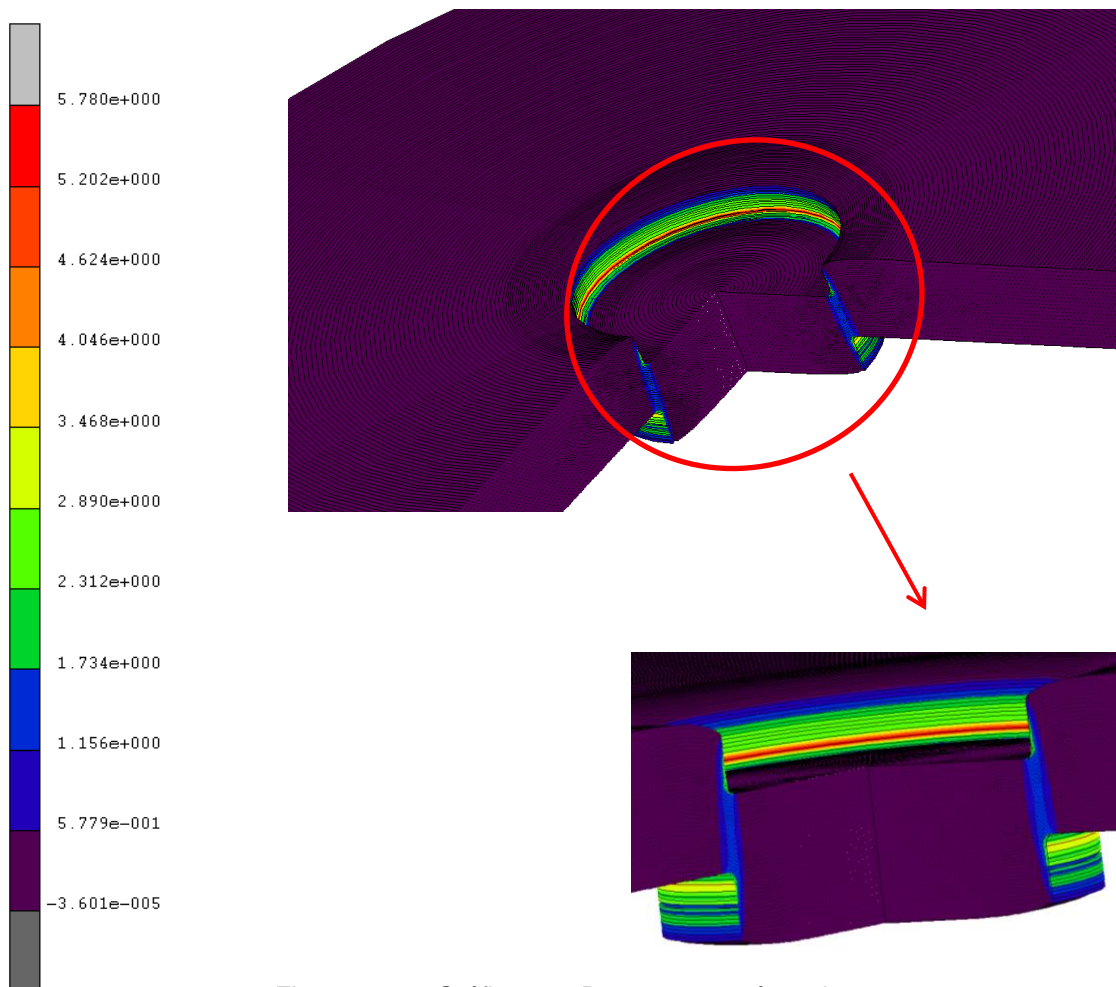


Figura 4.122. Gráfico en 3D con geometría optima

Al final del proceso:

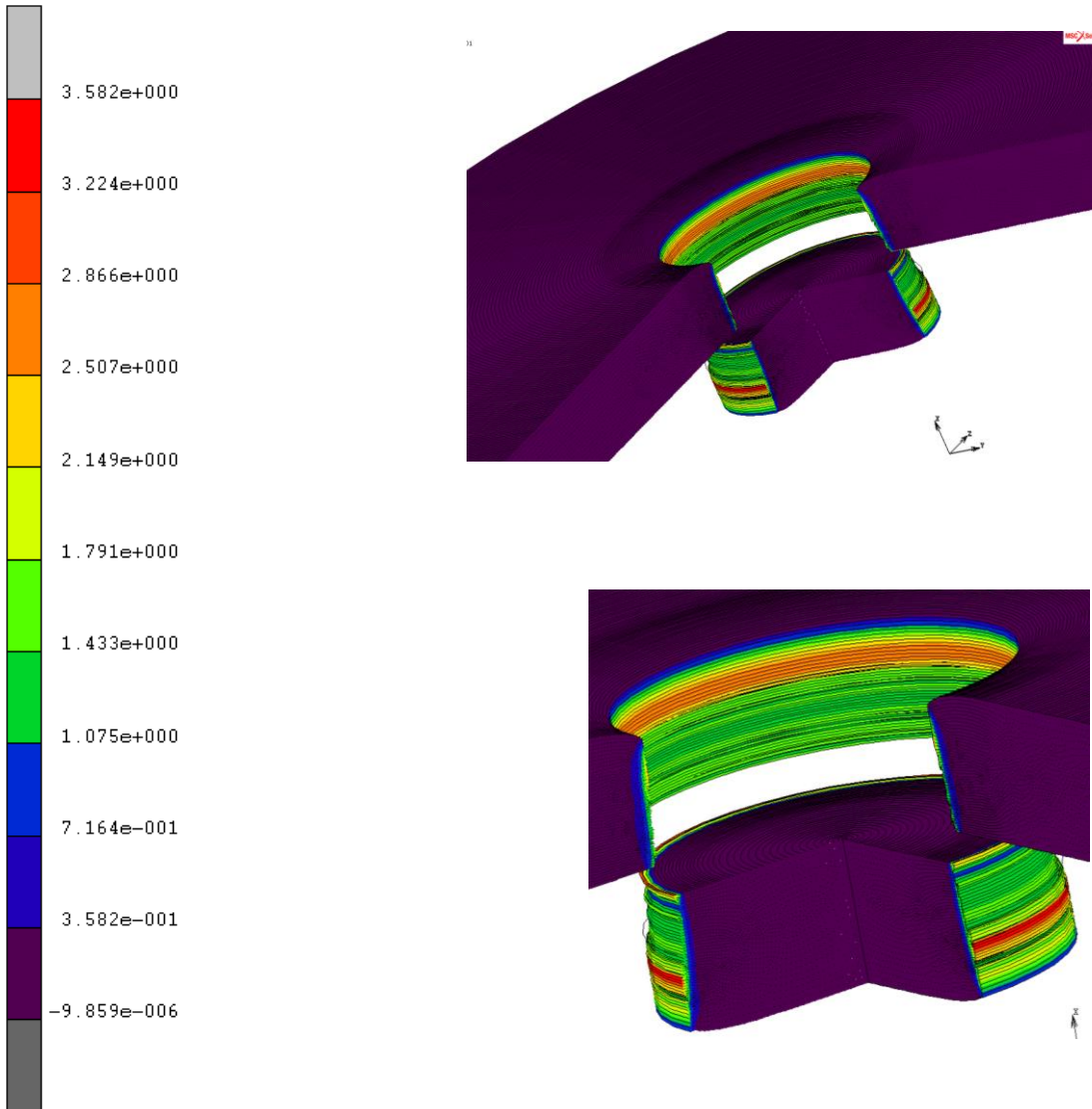


Figura 4.123. Gráfico en 3D con geometría optima

Tensión de von Mises "EQUIVALENT VON MISES STRESS"

En medio del proceso:

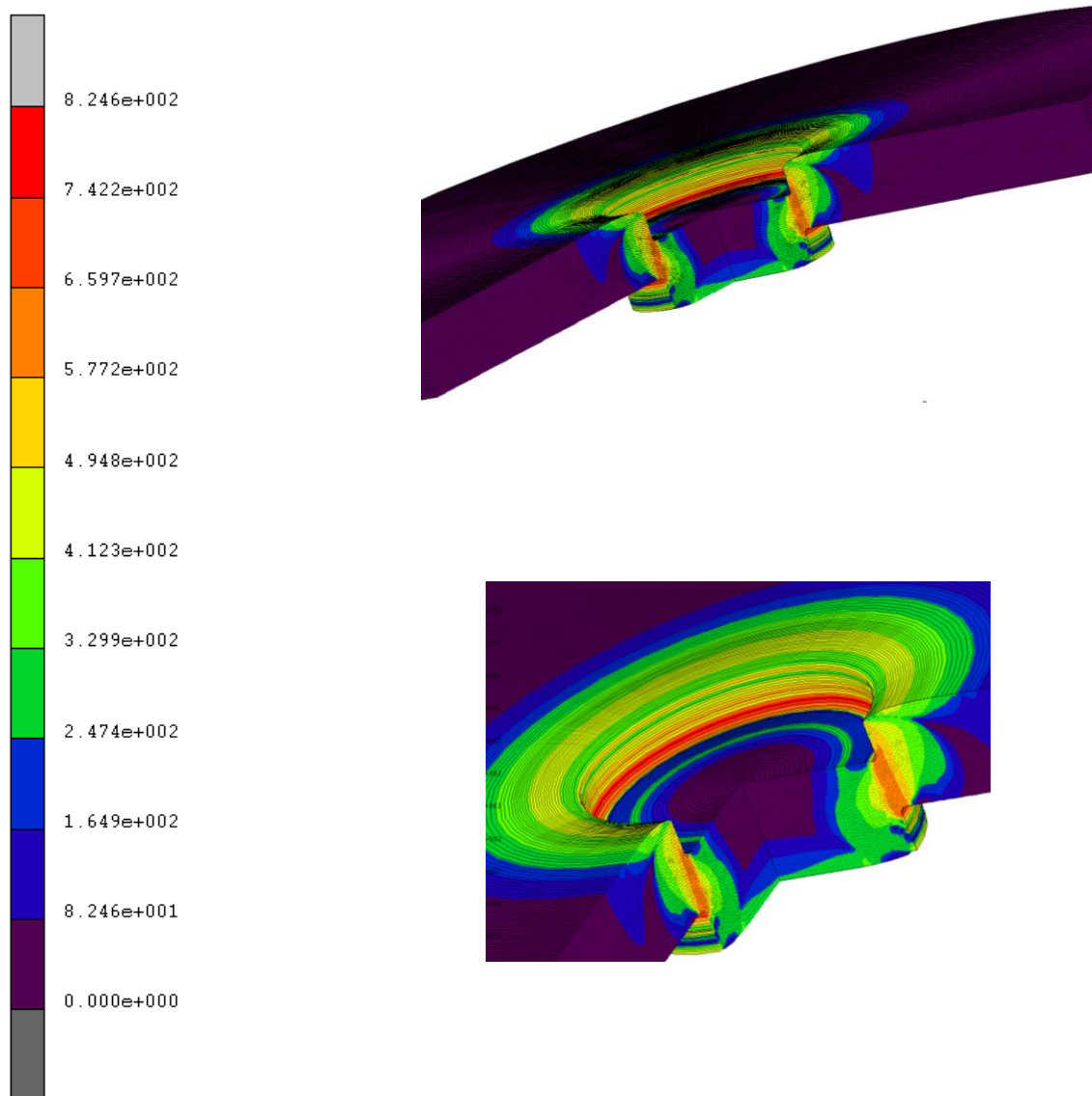


Figura 4.124. Gráfico en 3D con geometría optima

Al final del proceso:

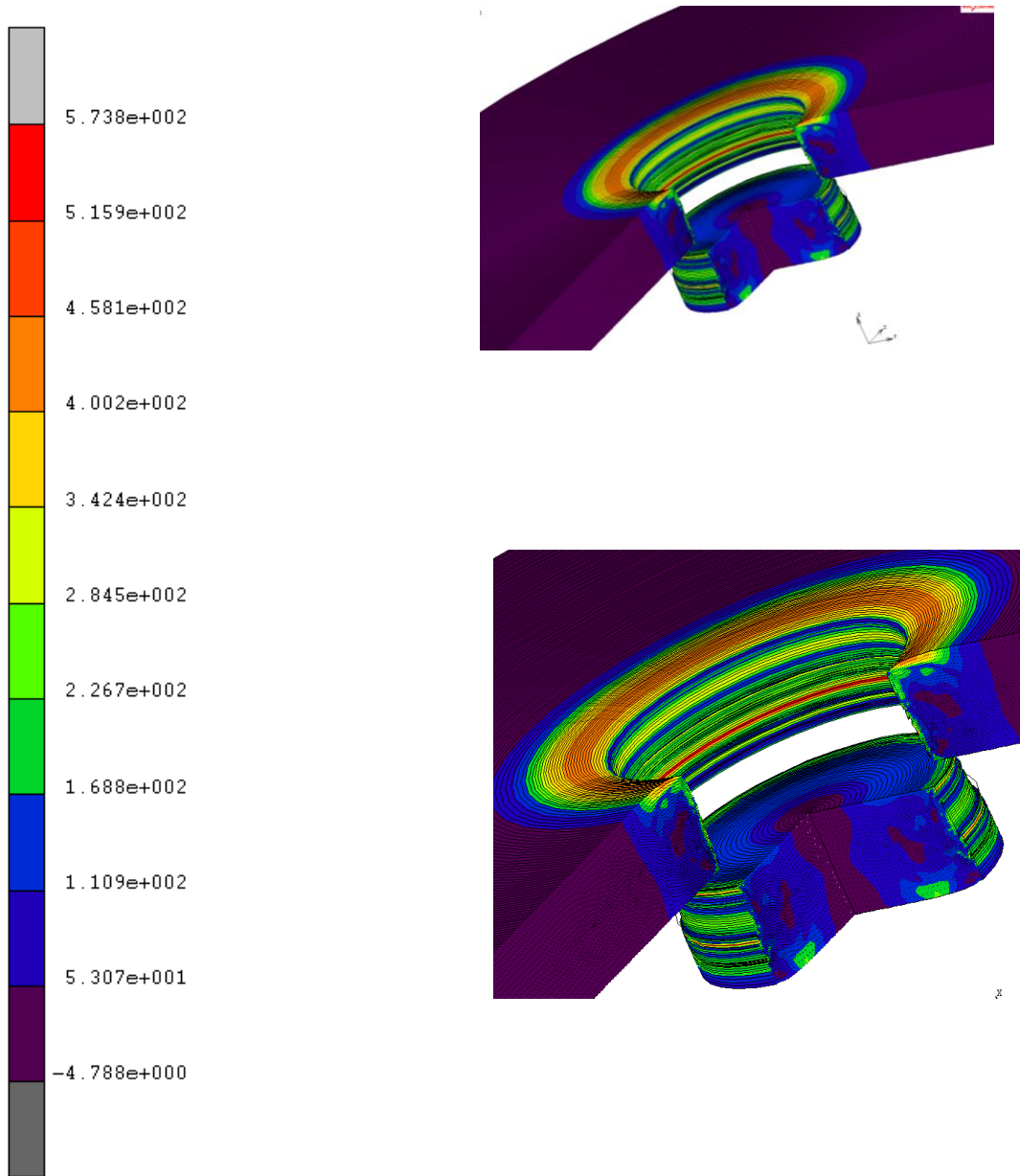


Figura 4.125. Gráfico en 3D con geometría optima

Damage "DAMAGE"

En medio del proceso:

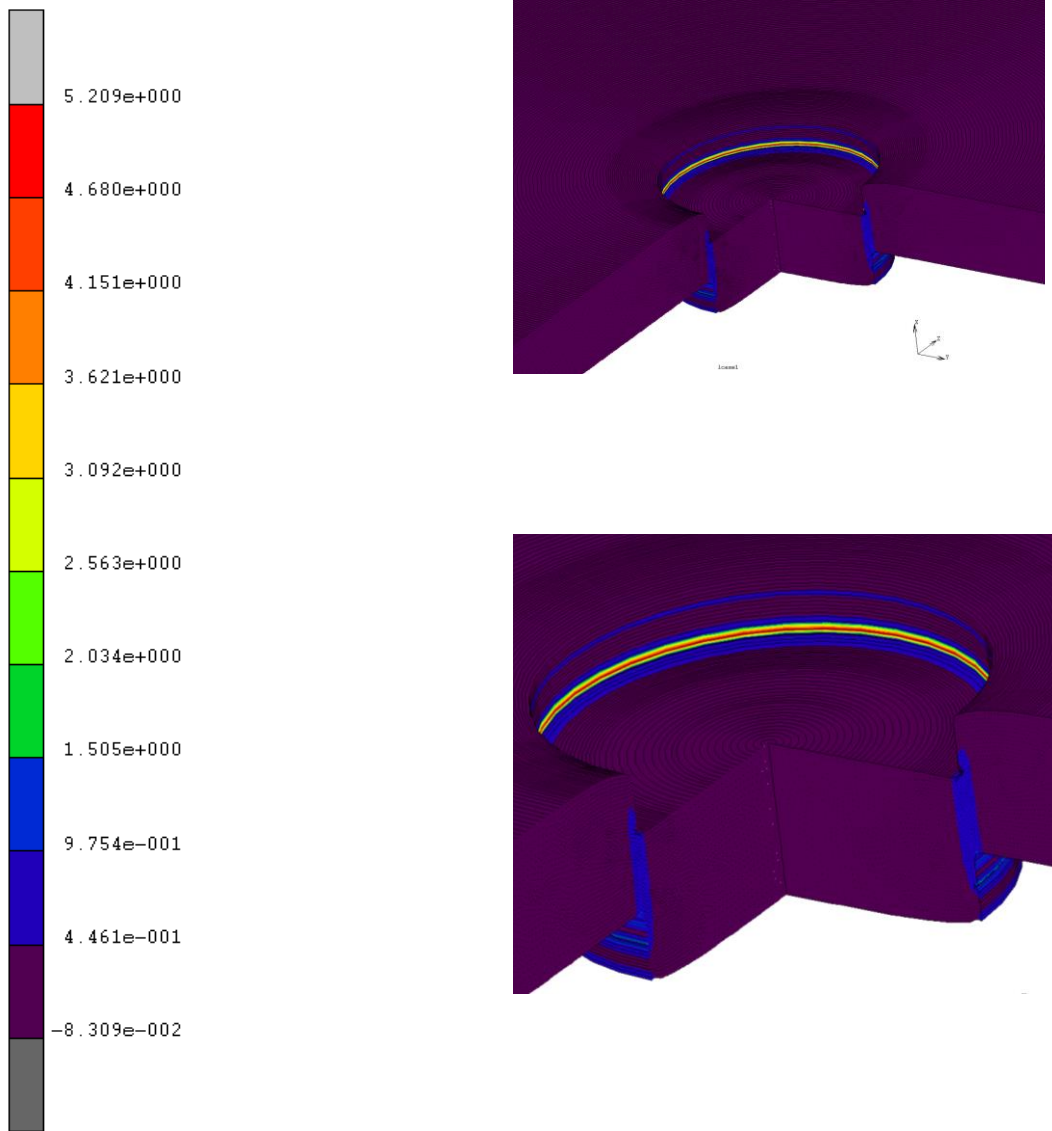


Figura 4.126. Gráfico en 3D con geometría optima

Al final del proceso:

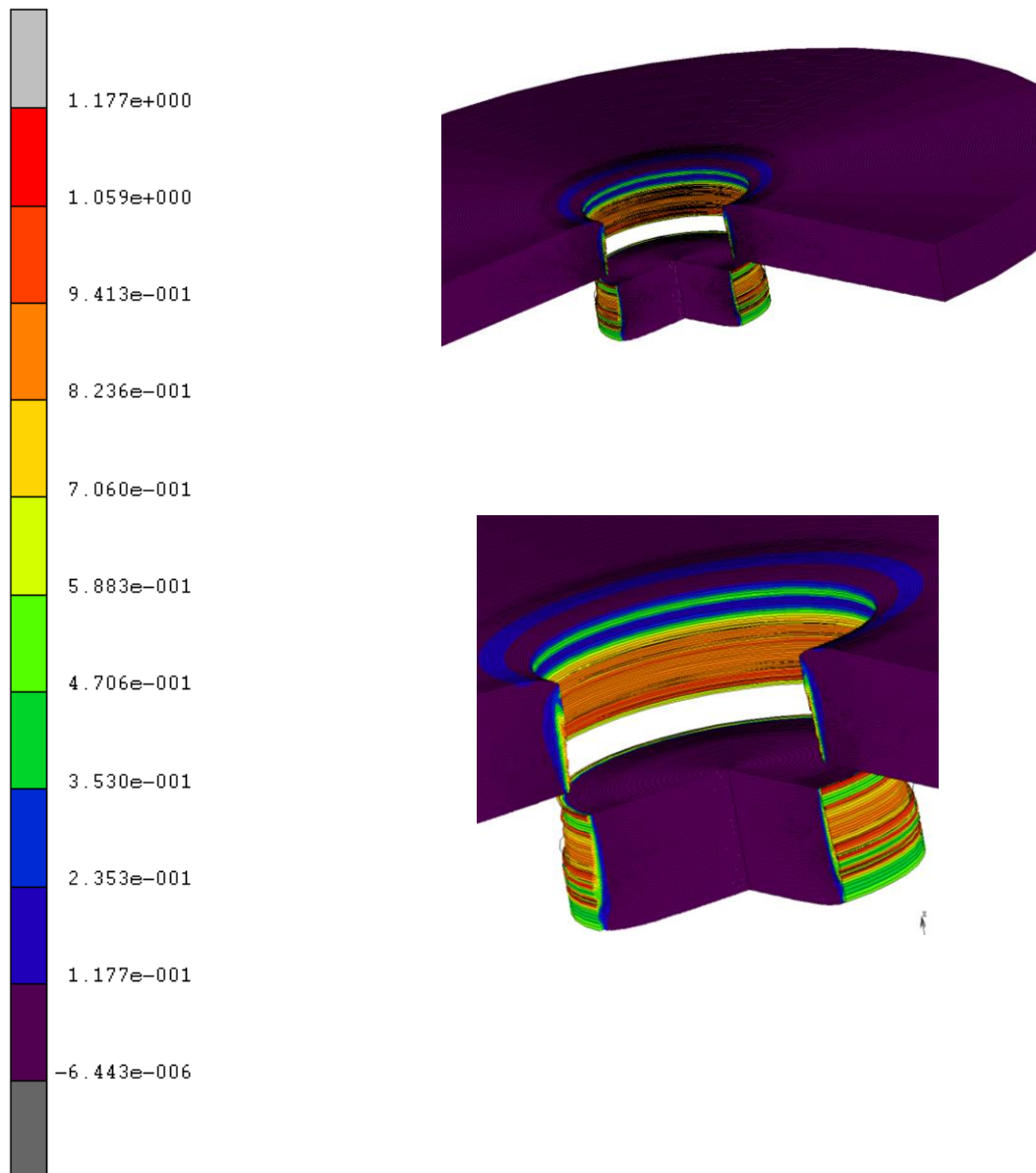


Figura 4.127. Gráfico en 3D con geometría optima

Después de haber visto estas imágenes, ya queda claro como es el proceso del estampado y troquelado de los orificios laterales.

No se realizan estudios de fuerzas y gradientes puesto que ya están en el apartado anterior y son las mismas fuerzas y gradientes sólo que con una figura en 3D más real.

5. DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL UTILLAJE PARA LA FABRICACION DEL SOPORTE METALICO DE PIEZA “SOPORTE PULSADOR”

5.1 ANTEPROYECTO

En esta etapa se detectan los problemas que puedan surgir, para solucionarlos, y se intentan crear o se crean las ideas de solución.

En un anteproyecto lo principal es saber si la idea del proyecto es factible de realizar y si es viable.

En este periodo de la puesta en marcha de un proyecto se hacen todo tipo de estudios de factibilidades, tales como la económica, técnica, operativa y legal (que son las más recurrentes), para que según sus resultados se determine si el proyecto en cuestión es digno de ser ejecutado.

En conclusión, se define anteproyecto como el previo al proyecto final, documento donde se debe explicar en forma claro pero no tan extensa, el tema, la justificación, los objetivos del proyecto, las hipótesis que manejas y las variables que puedas tener.

El anteproyecto se compone de las siguientes consideraciones:

- Características constructivas del utillaje.
- Procesos de alimentación de material.

5.1.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DEL UTILLAJE

En este punto se trata de valorar según los tipos de utillajes que existen, cual es el más apropiado de acuerdo con las características que se conocen para este proyecto.

Los principales tipos de utillajes son los siguientes:

Simple

Se considera utillaje simple aquel diseñado para realizar una única transformación, suelen ser muy básicos y de fácil fabricación, lo que los hace interesantes económicamente; se emplean para piezas con una sola

transformación o bien para piezas de producción muy corta pero de alta rentabilidad pese a la necesidad de utilizar varios de estos utillajes.

Como desventajas se podría apuntar, que poseen, normalmente, una velocidad de trabajo reducida, ya que suelen ir combinados con una alimentación manual en la que se requiere la presencia de un operario continuamente, son pocos los casos en los que el utillaje es alimentado automáticamente.

En definitiva, la rentabilidad de estos utillajes se obtiene en piezas con producciones muy bajas o intermitentes, en las que no se llegaría a amortizar la inversión en utillajes más complejos.

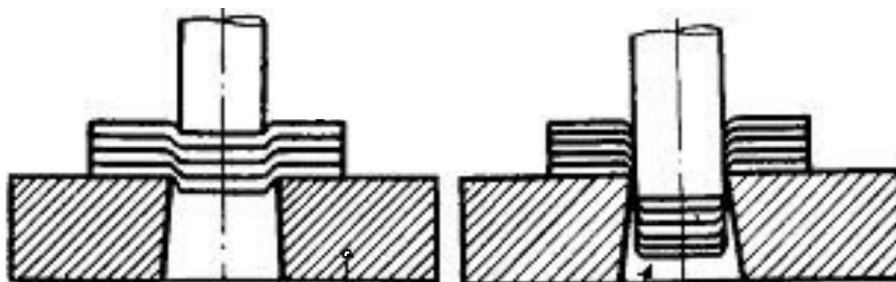


Figura 5.1. Ejemplo de troquel simple (un solo paso)

Utillajes Combinados

Este tipo de utillaje, como su nombre indica, es capaz de combinar varias transformaciones en un único ciclo de trabajo, esto se debe a que se intenta aprovechar las partes móviles y fijas del utillaje como zonas activas en el proceso de transformación. Este tipo de utillajes son muy apropiados para trabajos en prensas de varios efectos. Cabe destacar que la eficacia de los útiles combinados reside en crear un elaborado diseño. Se encuentran muy indicados para pieza de cualquier tamaño que combinen embuticiones con punzonados o doblados.

Como principales desventajas se pueden destacar:

- Como norma general, un sistema de alimentación totalmente manual (muy lento) ya que estos utillajes requieren de un trabajo con chapas de dimensiones definidas (nunca con bobinas). No siendo indicados para producciones largas.
- La pieza no cae al suelo con el riesgo que ello implica para el operario.

- Un diseño bastante elaborado, en función de la prensa y la pieza.
- Imposibilidad de obtener todo tipo de piezas de un solo ciclo.

Progresivo

Se entiende por transformación progresiva, la serie de operaciones sucesivas que realiza un útil para transformar una chapa plana, una tira, o una cinta, en un objeto o pieza con una forma geométrica propia. Un trabajo o transformación progresivo realizado con un utillaje, comprende un mínimo de dos fases o pasos, en los cuales pueden hacerse todo tipo de deformaciones de la chapa como por ejemplo: cortar, doblar, etc., con la única limitación real del espacio disponible que exista en la matriz de acuerdo a sus medidas.

La capacidad productiva en éste tipo de útiles y en piezas de pequeño tamaño puede llegar a ser de hasta 1600 golpes por minuto. Ello obliga a realizar un diseño muy esmerado y meticuloso, además de una construcción precisa y de calidad, que garantice un buen acabado de las piezas fabricadas y la durabilidad de las mismas.

Los útiles progresivos son construidos básicamente para la producción de piezas de pequeño y mediano tamaño con la finalidad de que sean fabricadas a imagen y semejanza de cómo se harían en dos, tres o más utillajes, pero en este caso agrupadas en un solo bloque, de ahí el interés para este proyecto (pieza pequeña y gran producción).

En el caso de fabricación mediante utillaje progresivo, la pieza siempre deberá permanecer unida a la tira de chapa hasta que ésta llega a la última estación o paso donde necesariamente deberá quedar cortada. Trabajar de ésta forma, permite que cada vez que baje la prensa, la matriz realice una nueva deformación en la pieza y cada vez que sube, la tira avance un nuevo paso a la espera de la siguiente transformación.

Considerando que para fabricar una pieza de chapa de gran consumo como la de este proyecto son necesarias como mínimo de 4 a 5 transformaciones y un número similar de utillajes de tipo manual o simple, es fácilmente comprensible el gran ahorro de tiempo y dinero que puede representar el fabricarlos con un único progresivo de 6 a 8 pasos aunque la inversión a realizar sea ligeramente mayor.

El procedimiento de trabajo con este tipo de herramientas progresivas puede parecer complicado si se lo compara con otros sistemas de producción menos automáticos, como por ejemplo los manuales. Todo ello viene derivado

de la complejidad que implica llevar a cabo la transformación de las piezas mientras que éstas permanecen unidas a la banda durante su camino por el interior de la matriz. Esta complicación se supe con eficiencia y rapidez.

Los costes de fabricación y los plazos de entrega pueden llegar a quedar reducidos hasta en un 50% de los valores estimados, si las matrices han sido diseñadas y construidas adecuadamente.

Algunas de las valoraciones previas hechas sobre la pieza, nos indicarán que construir una matriz progresiva es la mejor solución para:

- Obtener la producción horaria necesaria.
- Cubrir las entregas solicitadas por el cliente.
- Amortizar el precio de la matriz en un plazo adecuado.
- Realizar un ahorro contrastado respecto a otro sistema de producción.
- Cubrir el coste de la pieza mediante el sistema de producción decidido.
- Dar la calidad de pieza solicitada en el plano.

Definitivamente en según qué tipo de piezas metálicas los utillajes progresivos son todo ventajas, teniendo que ser una opción muy seria a la hora de plantear un sistema productivo en una fabricación.

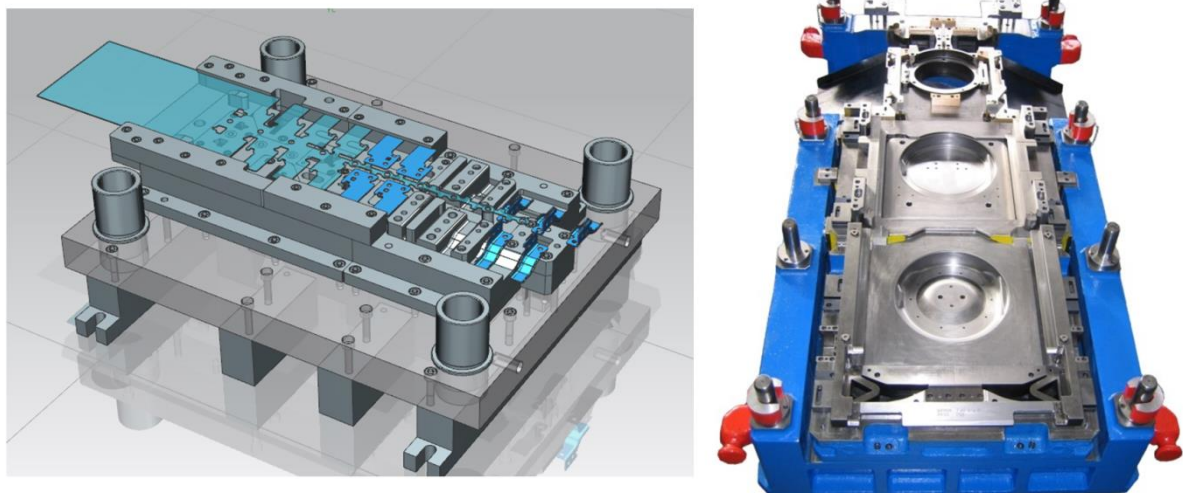


Figura 5.2. Ejemplos de troquel progresivo

Conclusión de la elección de utillaje

Aplicando las características del utillaje simple y de la pieza se puede descartar directamente este tipo; serían necesarios varios utillajes simples para realizar todas las transformaciones, y se requeriría de muchos operarios y puestos de trabajo para obtener la pieza en un tiempo razonable, lo que encarece la pieza en exceso.

Debido a las características de los utillajes progresivos y de la pieza requerida en el proyecto, se descarta este tipo de utillaje puesto que la pieza no requiere no más de tres pasos e incluso la serie de fabricación es media-baja, por lo que un utillaje de este tipo sería la inversión de mucho dinero en fabricación de herramienta lo que también encarece la pieza como en el caso de los utillajes simples.

Por último, el utillaje combinado encaja a la perfección con la fabricación de la pieza del proyecto puesto que sólo consta de tres pasos y hay una estimación de que la serie de fabricación va a ser de media-baja por lo que al final se decanta por este tipo de utillaje.

5.1.2 PROCESOS DE ALIMENTACIÓN DE MATERIAL

Una vez definida el tipo de matriz a utilizar, se estudiará la forma de alimentación que mejor se adapte a la producción. Tres son los tipos:

- Alimentación manual.
- Alimentación semiautomática.
- Alimentación automática.

Haciendo una comparación entre los tres tipos de alimentación anteriores, se verá que las mayores diferencias existentes están relacionadas con la cantidad de piezas a fabricar pero muy poco con el proyecto o construcción de útil. Así, a continuación se analizan con más detalle cada una de las ventajas e inconvenientes que presentan los tres casos mencionados anteriormente.

Alimentación manual

Puesto que el utillaje a fabricar para la realización de la pieza del proyecto es de utillaje combinado, la forma de alimentación más correcta es la alimentación manual.

La reflexión a que nos conduce éste sistema, nos indica que se trata de un ciclo de trabajo con una cadencia poco elevada, dado que la producción alcanzada dependerá únicamente de la rapidez con la que el operario haga avanzar la banda sobre la matriz y no de la capacidad mecánica del conjunto prensa-utillaje.

Este sistema, únicamente es aconsejable cuando no se disponen de otros medios de alimentación más automáticos o cuando las producciones sean medias-bajas como es este caso, también cabe la posibilidad de que el material provisto venga en bandas de medida definidas y cuyo manejo solo lo pueda realizar un operario.

Son varios los problemas o inconvenientes que presenta este tipo de alimentación y que podrían hacer que fuese descartado como por ejemplo:

- La imposibilidad de estirar de la tira de chapa cuando esta, una vez cortada la pieza, no tenga salida por la parte final de la prensa.
- La dificultad del operario para hacer avanzar el material a lo largo de la prensa desde una posición frontal a la misma.
- Los riesgos de seguridad que comporta el hecho de que el operario tenga acceso a la matriz durante el ciclo de trabajo, esta ultima la más importante.
- La escasa capacidad productiva que se presenta en un sistema como éste.

Alimentación semiautomática

Se define como semiautomática aquella en la que aun realizando la transformación de la chapa de manera progresiva, el avance de la misma se realiza con un alimentador que hace avanzar unas tiras definidas de entre 3 y 6 metros aproximadamente, si bien éste último dato depende más del peso y no tanto de las medidas del material.

Éste proceso de producción aun siendo más rápido que en los útiles progresivos manuales, también presenta algunos problemas como los que se enumeran a continuación:

- Paros de producción a cada cambio de tira de chapa.
- Pérdidas de piezas fabricadas por metro lineal de chapa, al no aprovechar en su totalidad las últimas piezas de cada tira, puesto que ya se ha perdido la referencia de la cuchilla de paso que se encuentra a la entrada.
- Los riesgos de seguridad que comporta el hecho de que el operario tenga acceso al interior de la prensa durante el ciclo de trabajo.

Alimentación automática

Dentro de los tres tipos de alimentación, es evidente que éste último, es el que reúne las mayores ventajas a la hora de conseguir la máxima producción en el mínimo tiempo posible aunque a veces por diferentes causas sea imposible la elección de alimentación automática.

En éste caso, el avance de la chapa en la matriz, se realiza de manera totalmente automática por medio de un alimentador y partiendo de rollos o bobinas de gran longitud y cuyo diámetro interior o exterior deben estar de acuerdo a las medidas que tenga la devanadora encargada de desenrollar el material.

Es evidente que, siempre que se pueda trabajar con un sistema de alimentación automático, las ventajas serán mucho mayores que con cualquier otro.

Véanse algunas de las ventajas que se obtienen con éste sistema:

- Mínimos paros de producción por cambios de bobina.
- Aprovechamiento del material en toda su longitud.
- Ausencia de riesgos laborales para el operario al no tener necesidad de acceder a la matriz durante el ciclo de trabajo.

- Mayor tiempo productivo de la máquina.
- Mayor disponibilidad del operario para trabajar con dos o más máquinas.

Conclusión de la elección de tipo de alimentación

Vistas las características de los tipos de alimentación, se podría decir que la mejor sería la alimentación automática puesto que es la más rápida y cómoda, pero para el utillaje combinado, la forma correcta de tipo de alimentación, es la que se hace de forma manual. Se decide por el tipo de alimentación manual para el proyecto.

5.2 PROYECTO

Ante la labor de diseñar el utillaje es necesario realizar una distinción entre el diseño de los procesos y el diseño de los componentes, de esta manera se generan dos fases que aun siendo bien distintas están directamente relacionadas.

5.2.1 DISEÑO DE PROCESOS

Atendiendo a la definición, se sabe que todo utillaje progresivo o troqueles diferentes con distintas fases dispone de un número de operaciones como en este proyecto es, en los que el objetivo es conseguir poco a poco el modelado de la banda para en último lugar, desprender la pieza buscada, o dicho de otra manera, el material sufrirá una serie de procesos de transformación que culminará en la obtención de la pieza.

La distribución y el tipo de procesos, es lo que se trata de diseñar en primer lugar; y para lo que es vital prestar atención a las diferentes transformaciones que posee la pieza.

En la figura siguiente se muestra la pieza a conseguir en perspectiva isométrica y donde podemos observar perfectamente las diferentes transformaciones:

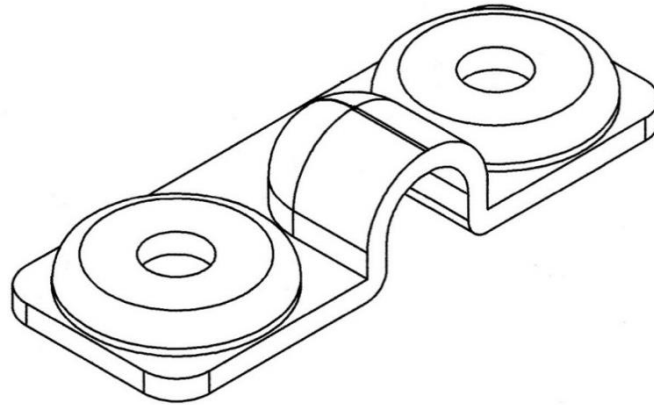


Figura 5.3. Pieza a conseguir

Se puede distinguir las siguientes transformaciones u operaciones:

- Doblado de la media caña
- Embutición de los orificios laterales
- Troquelado de dichos orificios

Al ser una pieza que no va a tener grandes series, se procede a realizar un troquel subdividido en tres partes por lo que la fabricación y diseño es bastante más fácil, ya que no hay que hacer cálculos de paso entre operaciones a realizar a la pieza.

A continuación se exponen los dos troqueles diseñados en Solid Works para hacerse una idea de cómo son, en los anexos se muestran los planos:

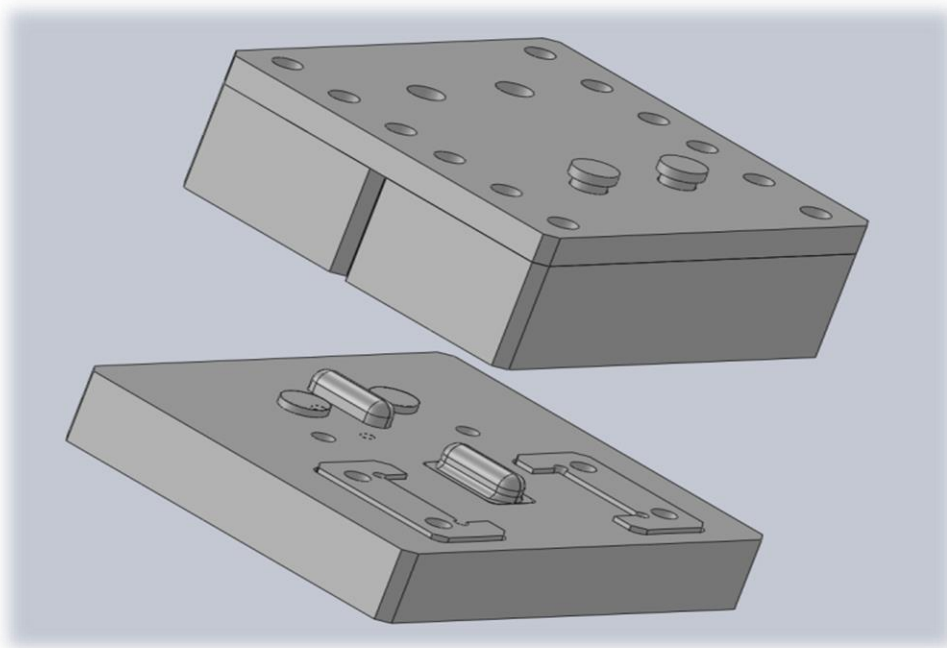


Figura 5.4. Troquel doblador de la media caña

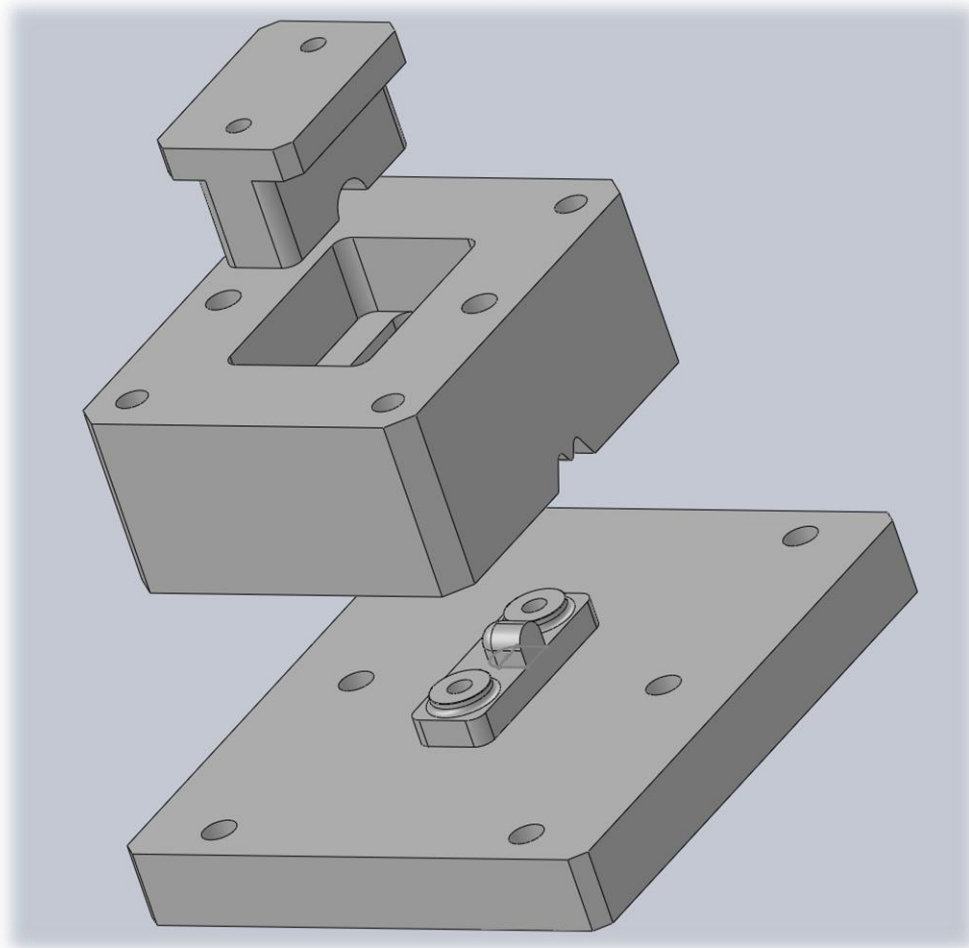


Figura 5.5. Troquel cortante

Fuerza necesaria para el doblado de la media caña

Como en el programa se ha puesto una anchura de 1 mm. La verdadera fuerza se tiene que multiplicar por la anchura real de la pieza, que en este caso es de 28 mm.

$$\underline{\text{Fuerza}} \text{ (de la dimensión óptima)} \cdot \underline{\text{Anchura}} = (10,74 \cdot 10^3) \cdot (28) = \underline{\underline{300.720 \text{ N}}}$$

Para saber la fuerza en Kg que debe hacer la prensa, se debe dividir los Newton que sale, entre 9,8, así pues:

$$300.720 / 9,8 = 30.685,714 \text{ Kg}$$

Lo que equivale a **30,69** toneladas.

Fuerza necesaria para el estampado de los orificios laterales

Al igual que en el doblado de la media caña, en el estampado de los orificios laterales, hay que multiplicar por la superficie real de los orificios para saber realmente cuanta fuerza tiene que ejercer la prensa para el estampado y por el número de agujeros a realizar en la fase de estampado.

Fuerza (de dimensión óptima) · $2\pi r$ · nº de agujeros =

$$(2,934 \cdot 10^3) \cdot (2\pi \cdot 10,5) \cdot (2) = \underline{\underline{387.132,2 \text{ N}}}$$

Para saber la fuerza en Kg que debe hacer la prensa, se debe dividir los Newton que sale, entre 9,8, así pues:

$$387.132,2 / 9,8 = 39.503,285 \text{ Kg}$$

Lo que equivale a **39,50** toneladas

Fuerza necesaria para el corte de los orificios laterales y la periferia de la pieza

Al igual que en el estampado de los orificios laterales, en el troquelado de los orificios laterales, hay que multiplicar por la superficie real de los orificios, por el número de orificios y por la superficie de periferia de la pieza para saber realmente cuanta fuerza tiene que ejercer la prensa para el estampado.

{Fuerza (de dimensión óptima) · $2\pi \cdot r$ · nº de agujeros} + (periferia de la pieza) =

$$\{(1,110 \cdot 10^3) \cdot (2\pi \cdot 4,25) \cdot (2)\} + (77 + 28 + 28 + 64,5 + 12,5 + \frac{2\pi \cdot 6,5}{2}) =$$

$$(59.281,85) + (230,41) = \underline{\underline{59.512,26 \text{ N}}}$$

Para saber la fuerza en Kg que debe hacer la prensa, se debe dividir los Newton que sale, entre 9,8, así pues:

$$59.512,26 / 9,8 = 6.072,68 \text{ Kg}$$

Lo que equivale a **6,07** toneladas

Para las tres fases, se elige una prensa de 50 toneladas, ya que la mayor fuerza que se va a ejercer, es de 39,50 toneladas y nos dejamos valor por exceso para no forzar al máximo dicha prensa.

6. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS

En este trabajo se ha estudiado el proceso de conformado de chapa para la fabricación de pieza para un soporte pulsador. Para ello se ha empleado F.E.M (elementos finitos) con los que se han diseñado, analizado y estudiado los utillajes.

La empresa no emplea habitualmente el análisis F.E.M. para el diseño. Se ha observado que el empleo de dicha metodología reduce el tiempo de diseño y puesta en marcha, además de los fallos y defectos provocados en la pieza durante el conformado. Así pues en este proyecto no solo trata de describir la realización de un trabajo sino que intenta ampliar, haciendo referencia también, a todas las consideraciones técnicas y teóricas necesarias para abordar un proyecto de desarrollo de este tipo.

Para ello el PFC se compone de 5 bloques. Un primer bloque introductorio en el que se sientan las bases sobre lo que se va a hacer en el proyecto y se realiza una exposición de los datos de los que se dispone y de las condiciones. Otro segundo, de fundamentos teóricos genéricos a la mayor parte de utillajes de conformado de chapa mediante deformación plástica; un tercero en el que se siguen los pasos de desarrollo expuestos en el capítulo anterior y se aplican específicamente al utillaje a desarrollar. Un cuarto donde se hace un análisis y estudio de nuestro diseño de la matriz mediante elementos finitos, y que sirve para realizar estimaciones sobre el comportamiento que ofrecerá el utillaje en condiciones reales de funcionamiento, esta sería la parte que define básicamente el proyecto. Y un quinto y último bloque en el que se definen los parámetros y métodos de fabricación de los componentes diseñados.

Cabe destacar que un desarrollo de un proyecto de este tipo en el marco de una empresa, por la integración que necesita dentro de los diferentes departamentos, lleva asociado el análisis de otros muchos factores claves para su viabilidad a nivel empresarial. Estos factores se contemplarán como posibles en este proyecto como trabajos futuros para, como se ha dicho, poder integrar el desarrollo teórico y técnico de una utillaje de conformado de chapa en un marco empresarial más complejo. Así pues únicamente se detallan los principales campos que llevaría asociados el desarrollo de un utillaje:

- Planificación de la fabricación. Mediante alguna herramienta de planificación de tiempos y tareas.

- Costes de fabricación. En el que se incluyen análisis de métodos y tiempos de fabricación y coste de materia prima y elementos normalizados.
- Planes de amortización del utillaje.
- Control de la calidad.

Cada uno de estos aspectos supone otro proyecto en sí mismo. Es importante también mencionar que el objetivo por el cual se ha llevado a cabo el diseño de este proyecto final de carrera es la iniciación por parte de su autor en el amplio mundo de la fabricación de troqueles y utillajes, que son una parte muy importante y muy utilizada dentro de los procesos de fabricación y requiere por tanto de un desarrollo y de un diseño minucioso y eficaz en todos sus aspectos para poder obtener de él la máxima eficiencia.

Por último, destacar que la matriz y utillaje desarrollado en este PFC se ha fabricado y se emplea actualmente en la fabricación de dicha pieza.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

1.- MANUAL MARC-MENTAT

2.- MANUAL SOLID WORKS

3.- FUNDAMENTOS DE MATRICERIA, Corte y Punzonado. Antonio Florit. Ed: ceac, España; 2005.

4.- TROQUELADO Y ESTAMPACION, con aplicaciones al punzonado, doblado, embutición y extrusión. Tomas López Navarro. Ed: Gustavo GILL, España; 1981.

5.- FABRICACIONES METÁLICAS SIN ARRANQUE DE VIRUTA, Joseph Flimm. Ed: Urmo, Bilbao.

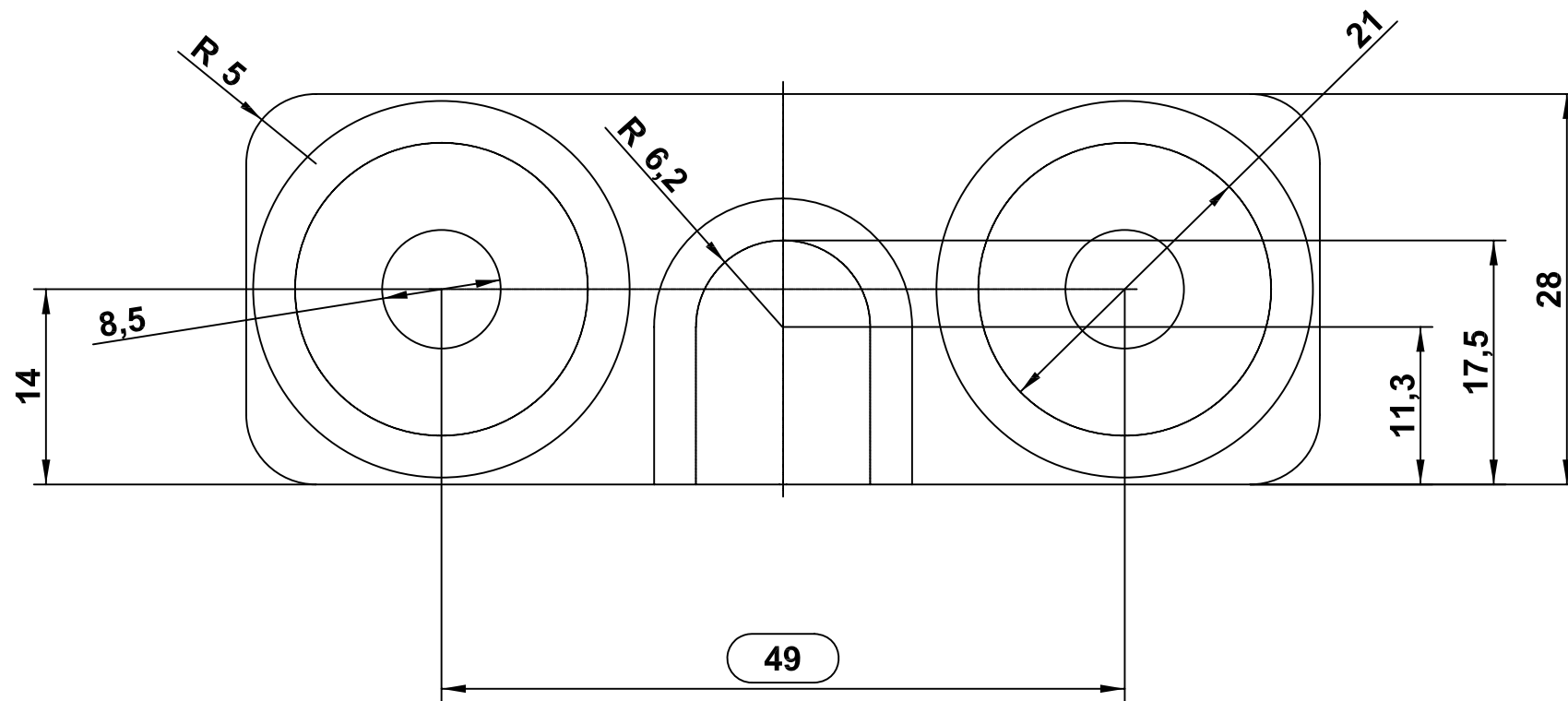
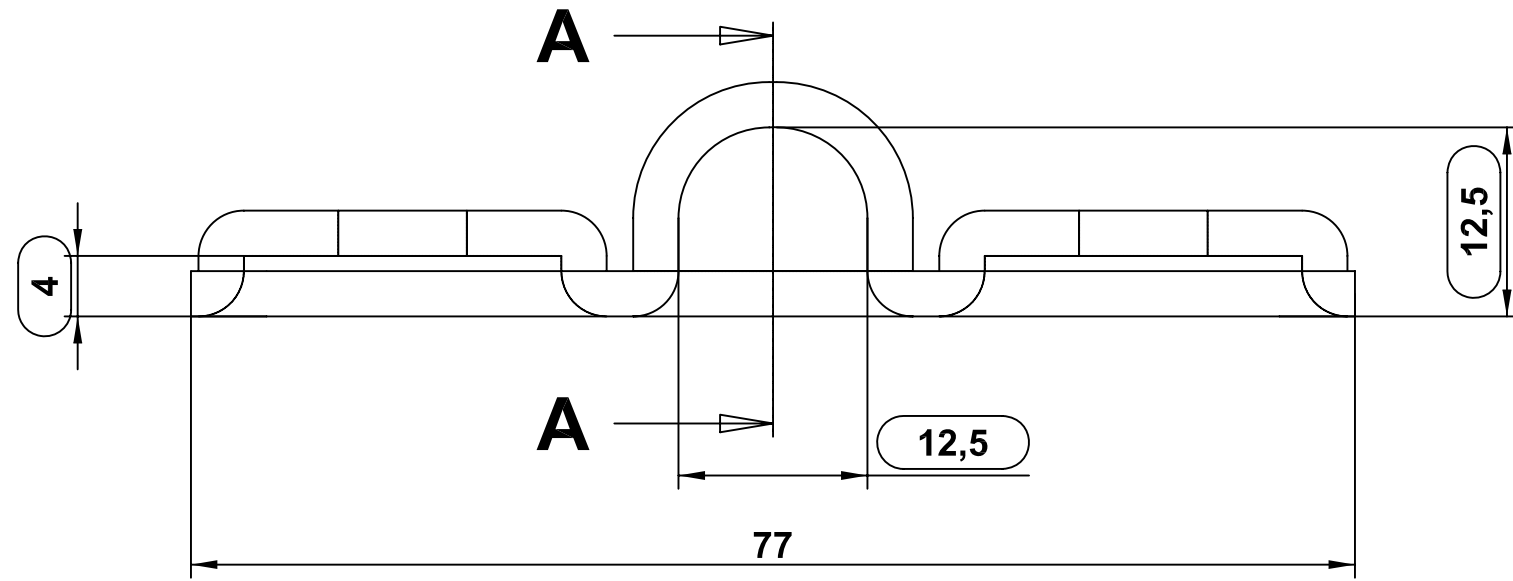
6.- PROCEDIMIENTOS DE FABRICACION Y CONTROL, José Oriol Avila. Ed: Cedel, Barcelona

7.- PROCESOS BASICOS DE MANUFACTURA. Thomas Gregor, E. Glenn. Ed: McGraw-Hill, México; 1983.

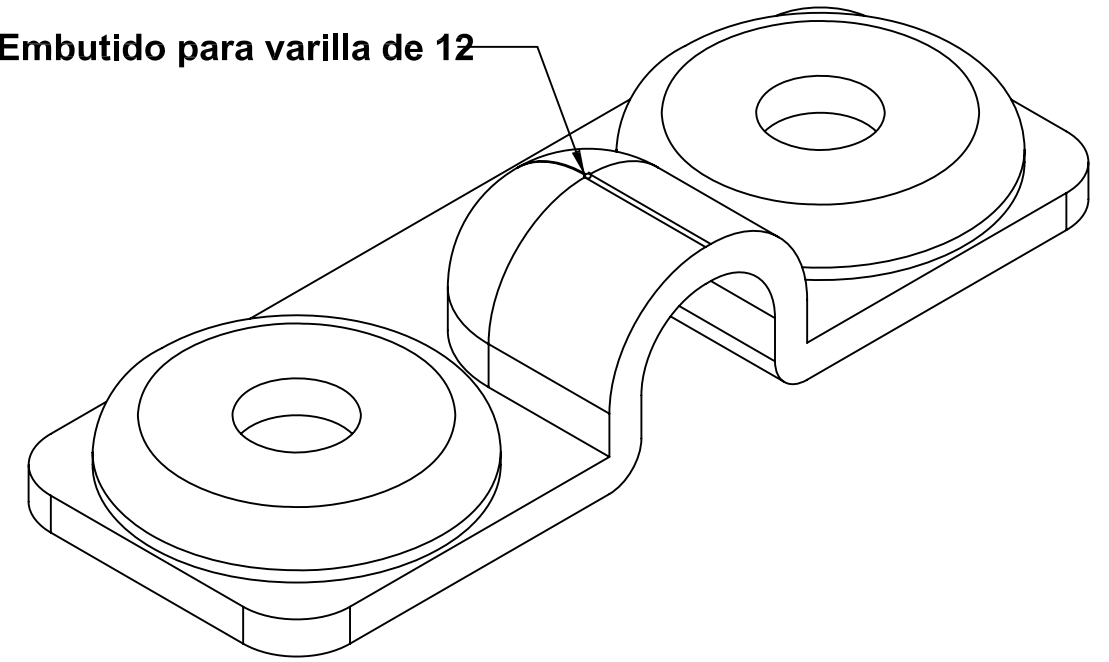
8.- FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA, Materiales, procesos y sistemas. Mikell P. Groover. Ed: Pearson - prentice hall.

9.- ESTAMPADO EN FRIO DE LA CHAPA. Mario Rossi. Ed: Dossat S.A

10.- ESTAMPADO Y PRENSADO A MAQUINA. J. Billigmann & H.D.Feldmann. Ed: Reverte S.A. 2ª edición.



Embutido para varilla de 12



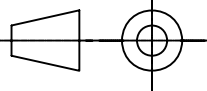
Tolerancias generales LONGITUDINALES			
De 0,5 a 3	De 3 a 6	De 6 a 30	De 30 a 120
±0,1	±0,1	±0,2	±0,3
De 120 a 315	De 315 a 1000	De 1000 a 2000	De 2000 a 4000
±0,5	±0,8	±1,2	±2
Tolerancias generales ANGULARES			
De 0,5 a 3	De 3 a 6	De 6 a 30	De 30 a 120
±0,1	±0,1	±0,2	±0,3

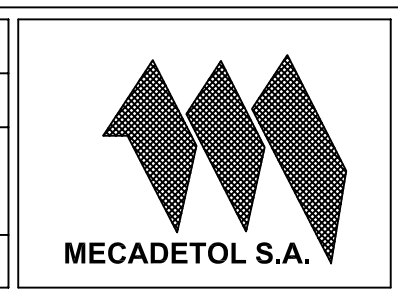
Rev. 02 a 03 02-06-06
 -Modificar anotación de varilla de Ø8 a Ø12

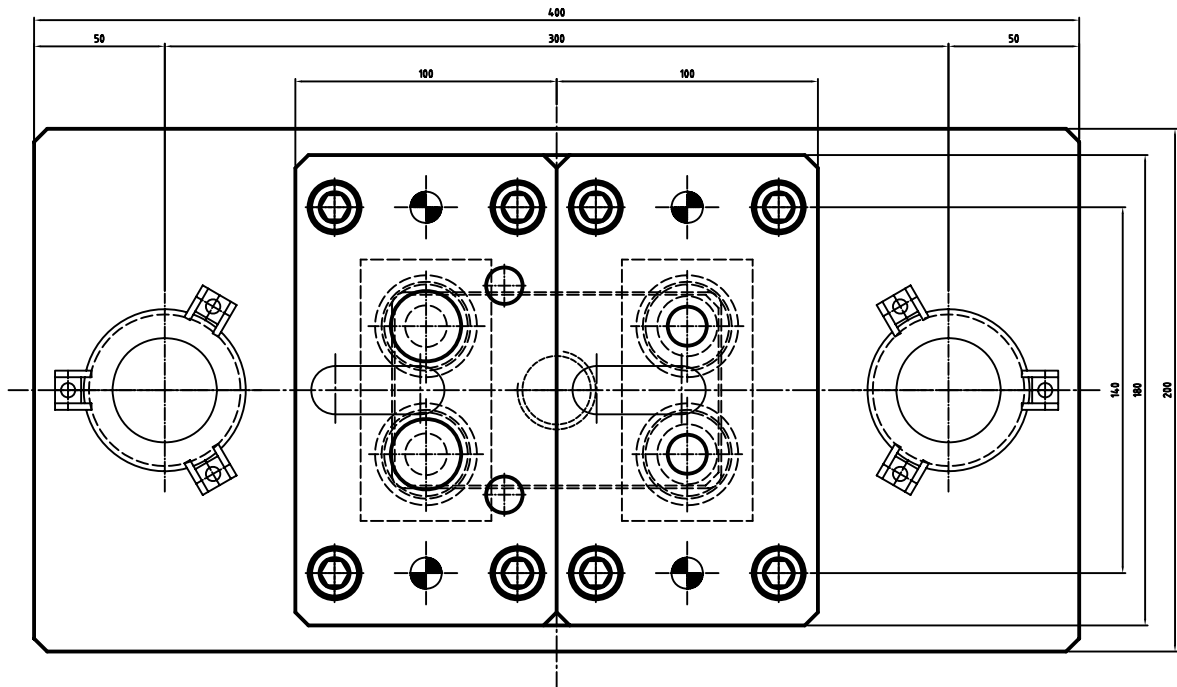
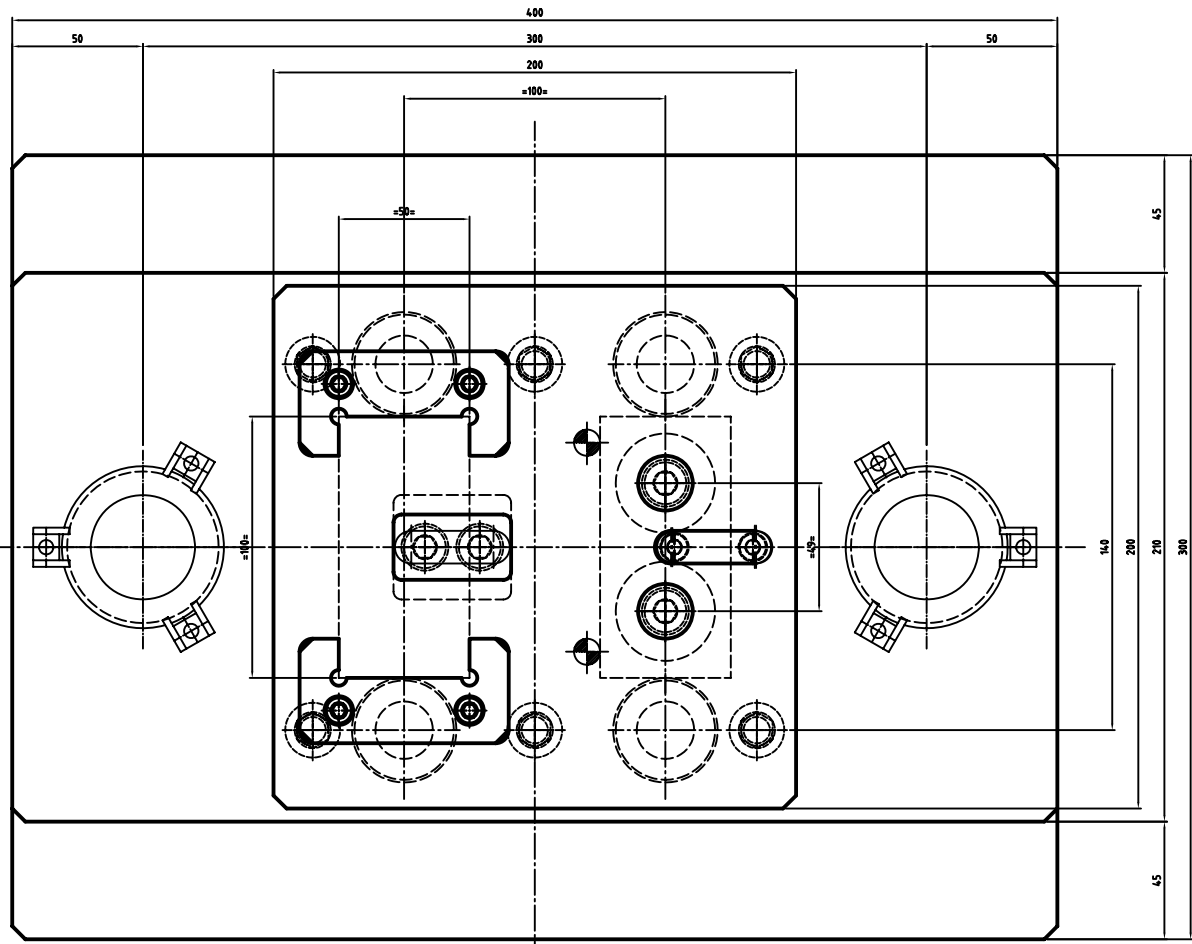
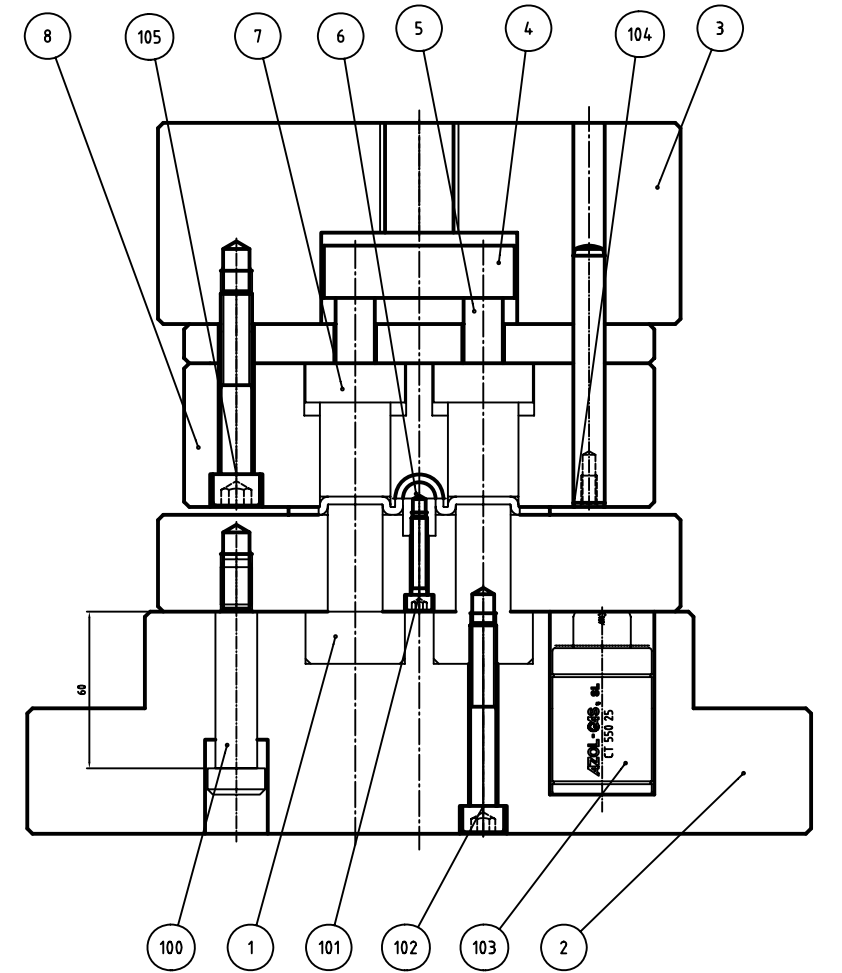
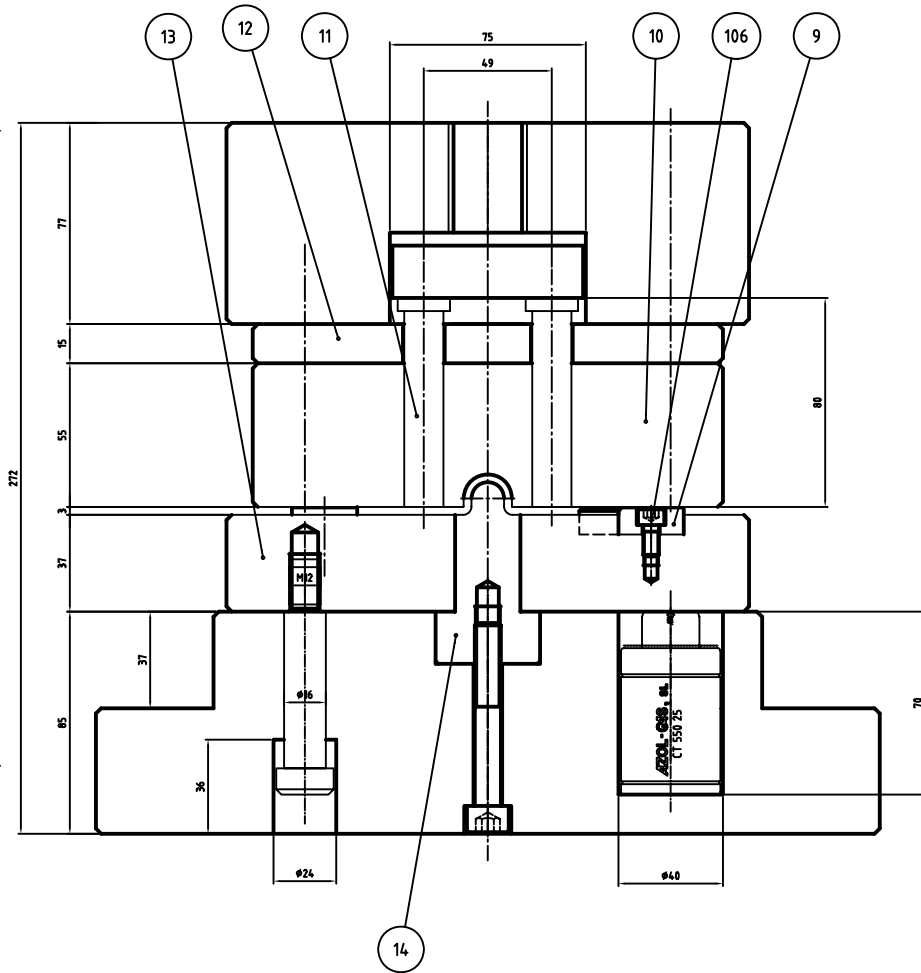
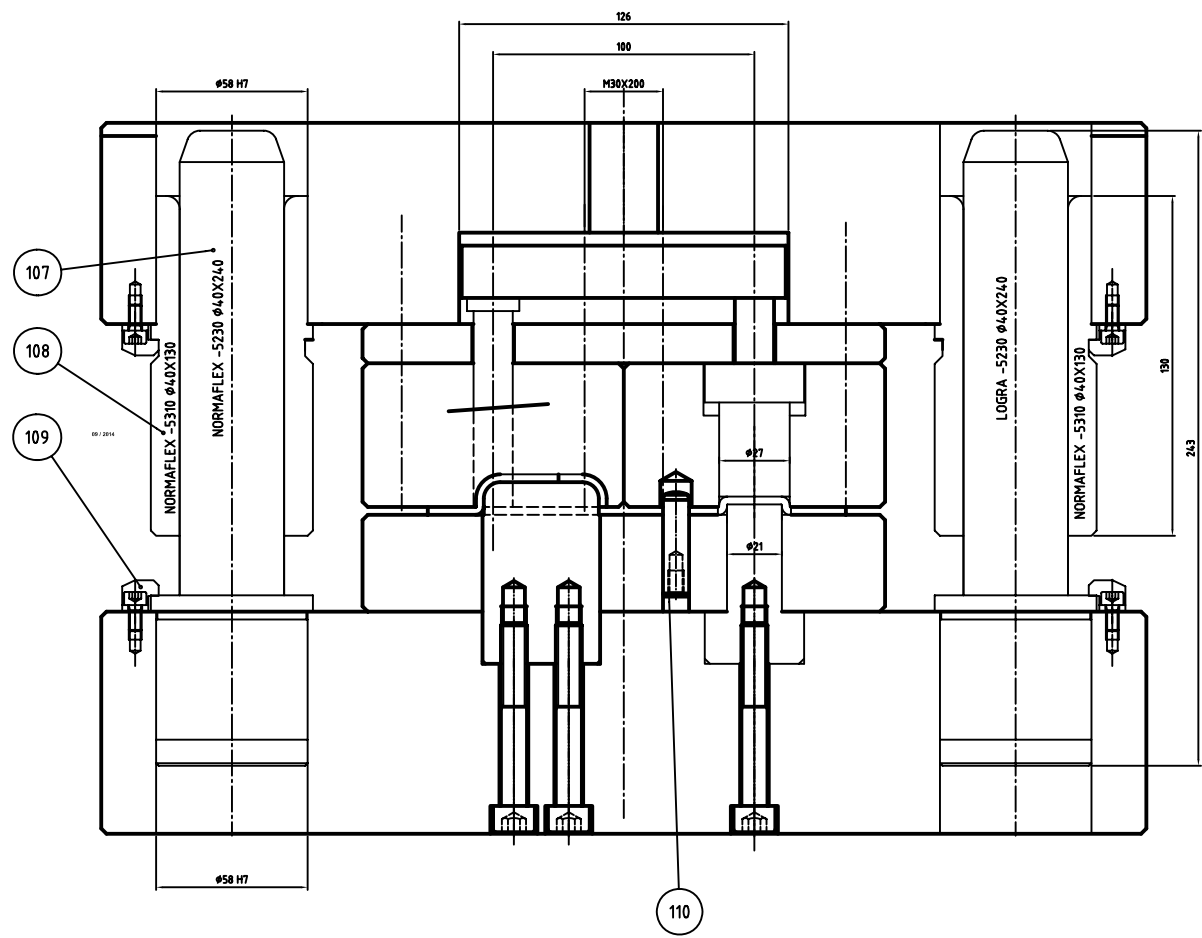
Rev. 01 a 02 31-05-06
 -De varilla de Ø8 a Ø12
 -Eliminar ensanchamiento
 -Eliminar escote


Rev. 00 a 01 09-06-03
 -De embutido para varilla Ø10 a Ø8
 -Hacer escote del corte A-A

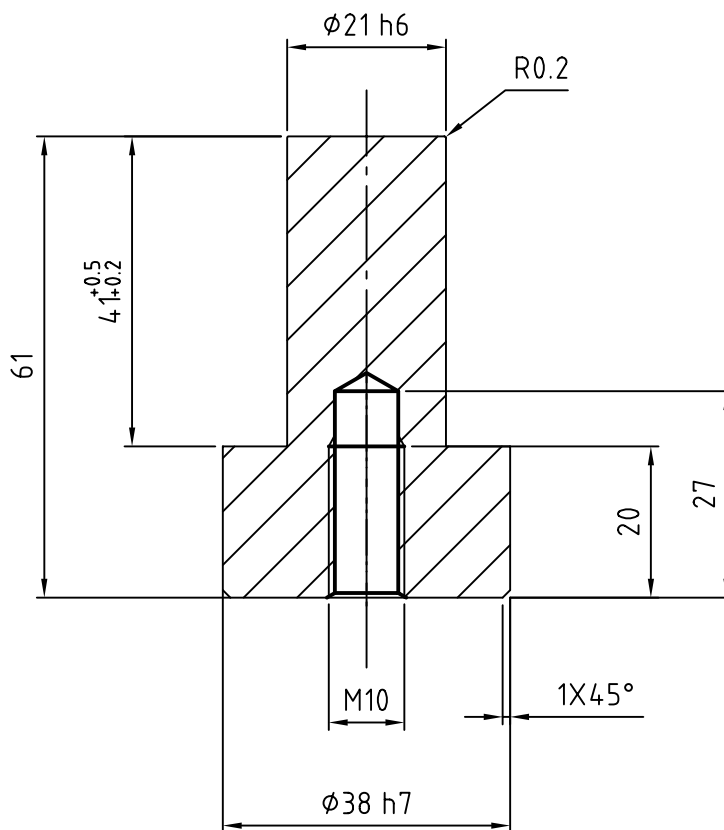
HOJA DE INSTRUCCIONES Y PAUTAS DE CONTROL	
Código: 29000316	REV N°: 03
Producto: Soporte pulsador	
Material: Chapa decapada e=3mm en AP-12	

Escala:
 Fecha: 16-12-05

 Autor: I.C.A.





 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitatea		E.T.S.I.I.T. DEPARTAMENTO DE INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICA		DEPARTAMENTO DE INGENIERO TÉCNICO MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES	
PROYECTO: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"				REALIZADO: BARBARIN MATUTE, IÑAKI	
PLANO: TROQUEL DOBLADOR				FECHA: 09 / 2014	
				ESCALA: 1:1	
				HO PLANO: UPNA	



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

**INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL MECÁNICA**

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE ING.
MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE
MATERIALES**

PROYECTO:

**DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES
PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"**

REALIZADO:

BARBARIN MATUTE, IÑAKI

FIRMA:

FECHA:

09 / 2014

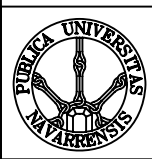
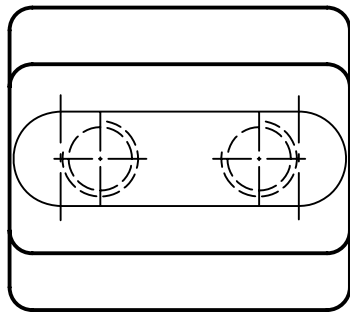
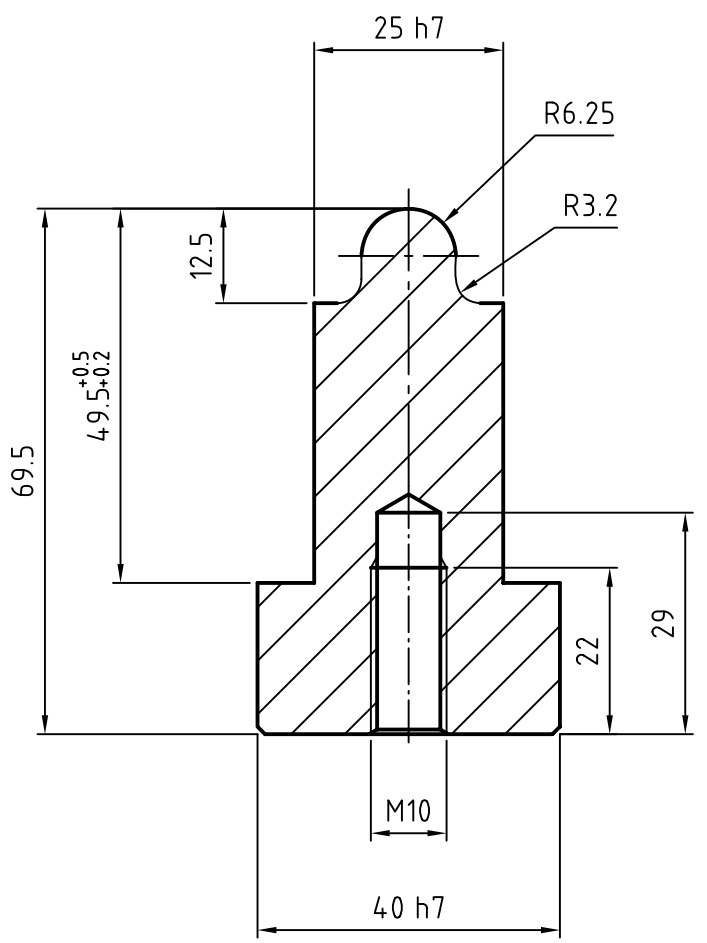
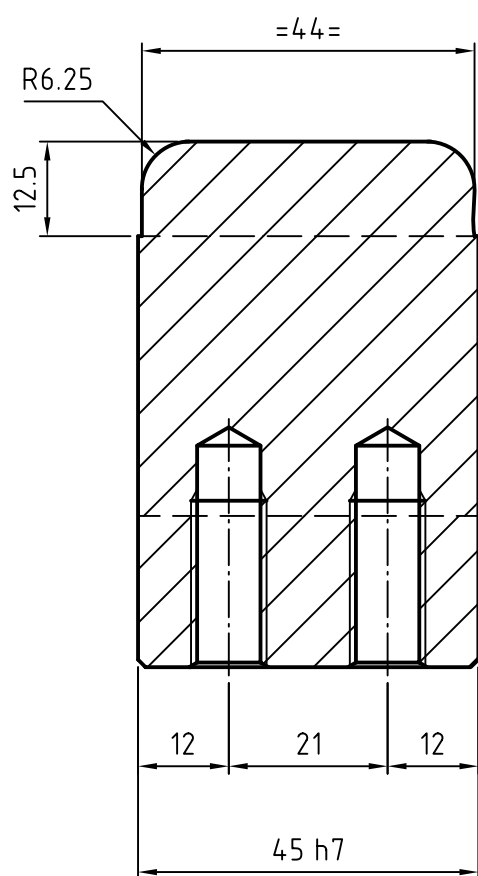
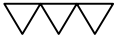
ESCALA:

1:1

Nº PLANO:

UPNA

PUNZÓN EMBUTIDO



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.
INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL MECÁNICA

DEPARTAMENTO:
DEPARTAMENTO DE ING.
MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE
MATERIALES

PROYECTO:
DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES
PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"

REALIZADO:
BARBARIN MATUTE, IÑAKI

FIRMA:

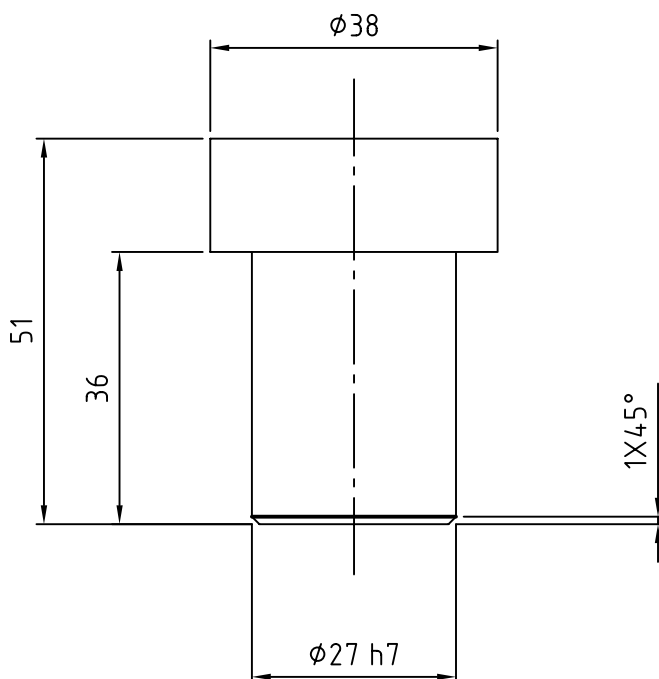
upna
Todos los derechos reservados.
Eskubide guztiak erreserbatur dira.

MACHO DOBLADOR

FECHA:
09 / 2014

ESCALA:
1:1

Nº PLANO:
UPNA



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.
**INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL MECÁNICA**

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE ING.
MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE
MATERIALES**

PROYECTO:

**DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES
PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"**

REALIZADO:

BARBARIN MATUTE, IÑAKI

FIRMA:

PLANO:

PISADOR EXPULSOR

FECHA:

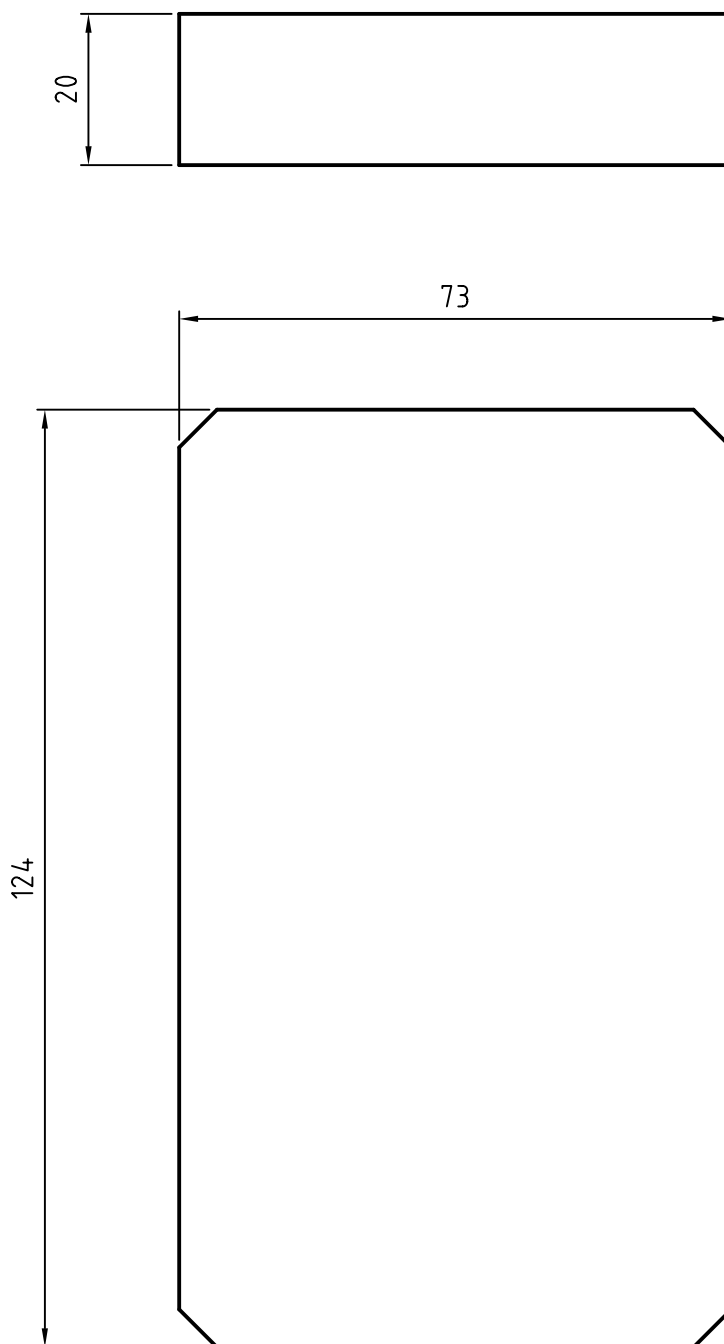
09 / 2014

ESCALA:

1:1

Nº PLANO:

UPNA



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.
INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL MECÁNICA

DEPARTAMENTO:
DEPARTAMENTO DE ING.
MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE
MATERIALES

PROYECTO:

DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES
PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"

REALIZADO:

BARBARIN MATUTE, IÑAKI

FIRMA:

FECHA:

09 / 2014

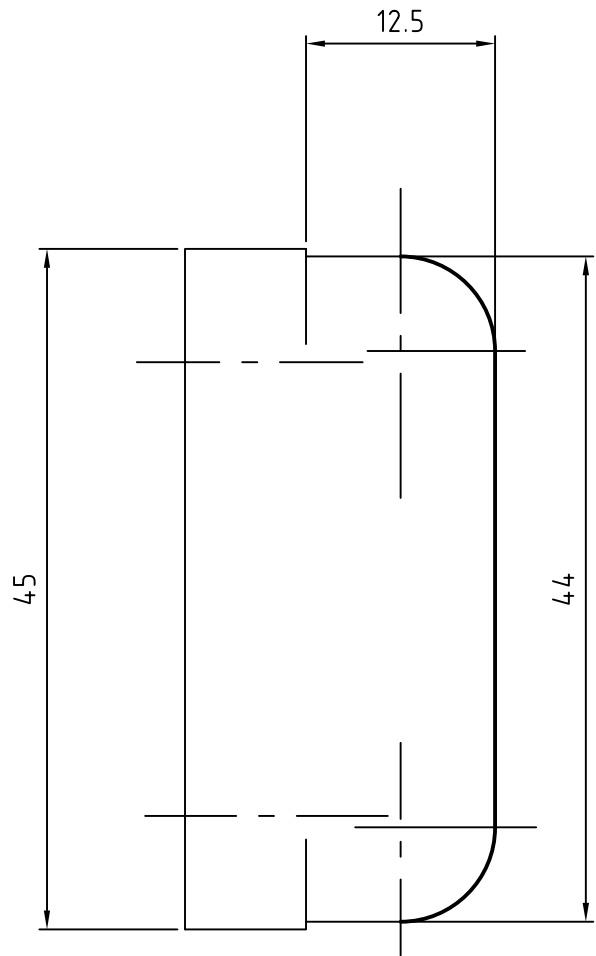
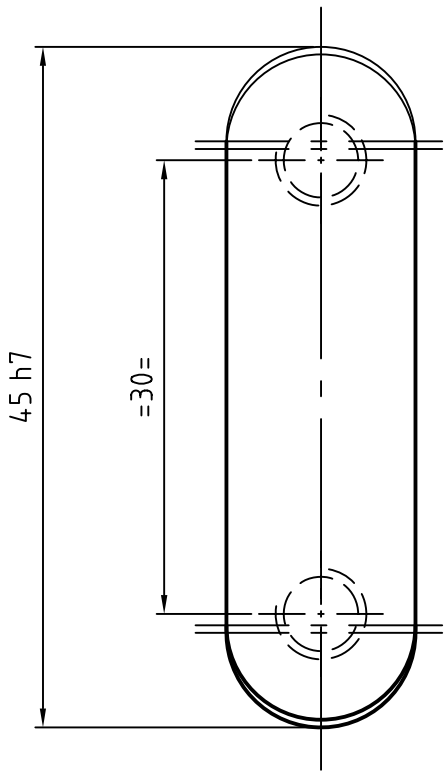
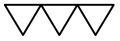
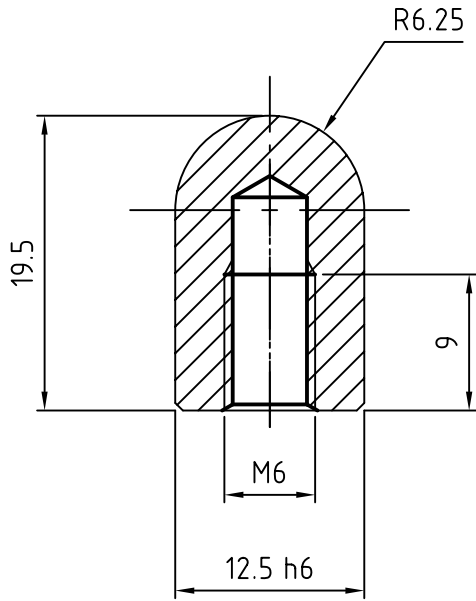
ESCALA:

1:1

Nº PLANO:

UPNA

PLACA EXPULSOR



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.
**INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL MECÁNICA**

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE ING.
MECÁNICA, ENERGÉTICA Y
DE MATERIALES**

PROYECTO:
**DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES
PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"**

REALIZADO:
BARBARIN MATUTE, IÑAKI

FIRMA:

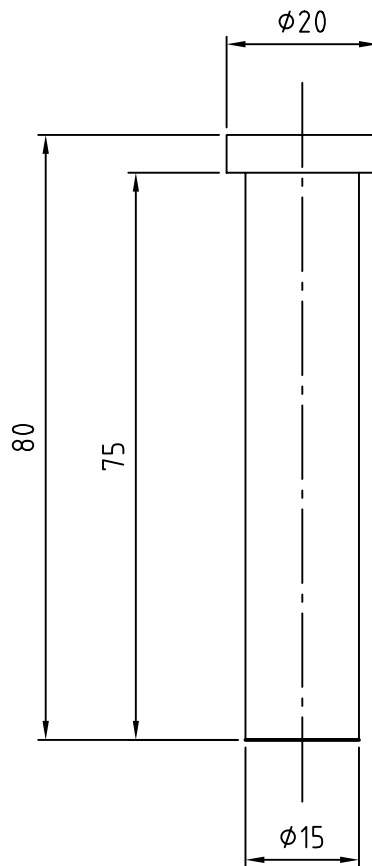
upna
Todos los derechos reservados.
Eskubide guztiak erreserbatur dira

PLANO
POSICIONADOR PIEZA

FECHA:
09 / 2014

ESCALA:
1:1

Nº PLANO:
1:1



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

**INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL MECÁNICA**

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE ING.
MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE
MATERIALES**

PROYECTO:

**DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES
PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"**

REALIZADO:

BARBARIN MATUTE, IÑAKI

FIRMA:

FECHA:

09 / 2014

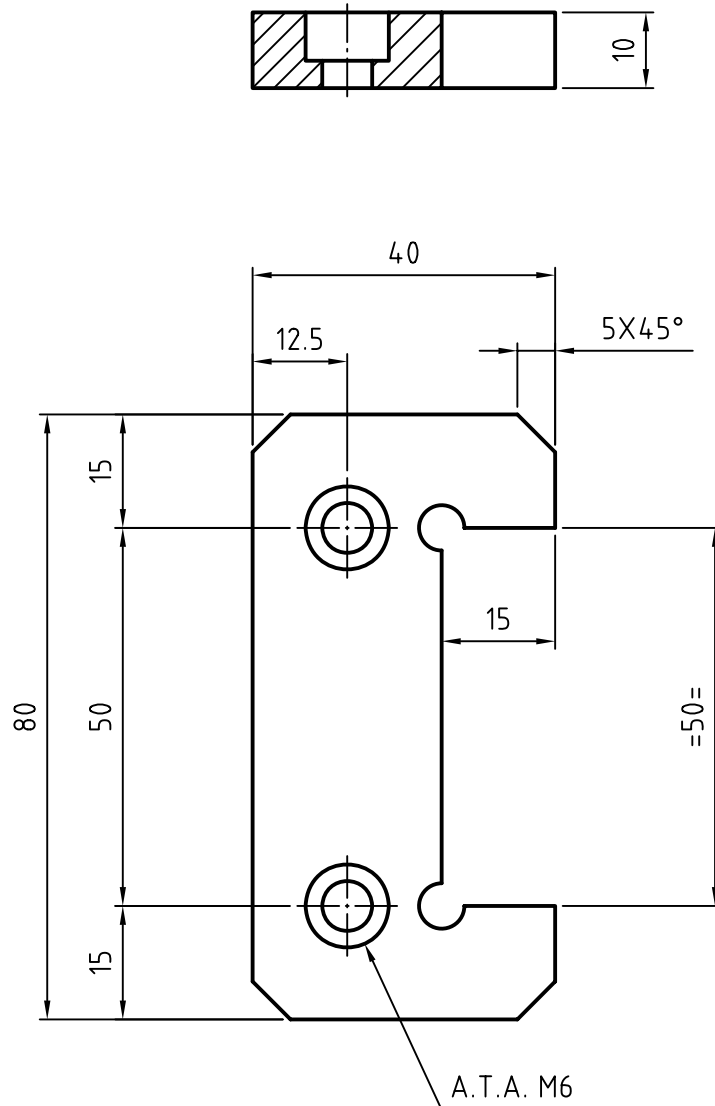
ESCALA:

1:1

Nº PLANO:

UPNA

PUNZÓN EXPULSOR



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

**INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL MECÁNICA**

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE ING.
MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE
MATERIALES**

PROYECTO:

**DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES
PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"**

REALIZADO:

BARBARIN MATUTE, IÑAKI

FIRMA:

FECHA:

09 / 2014

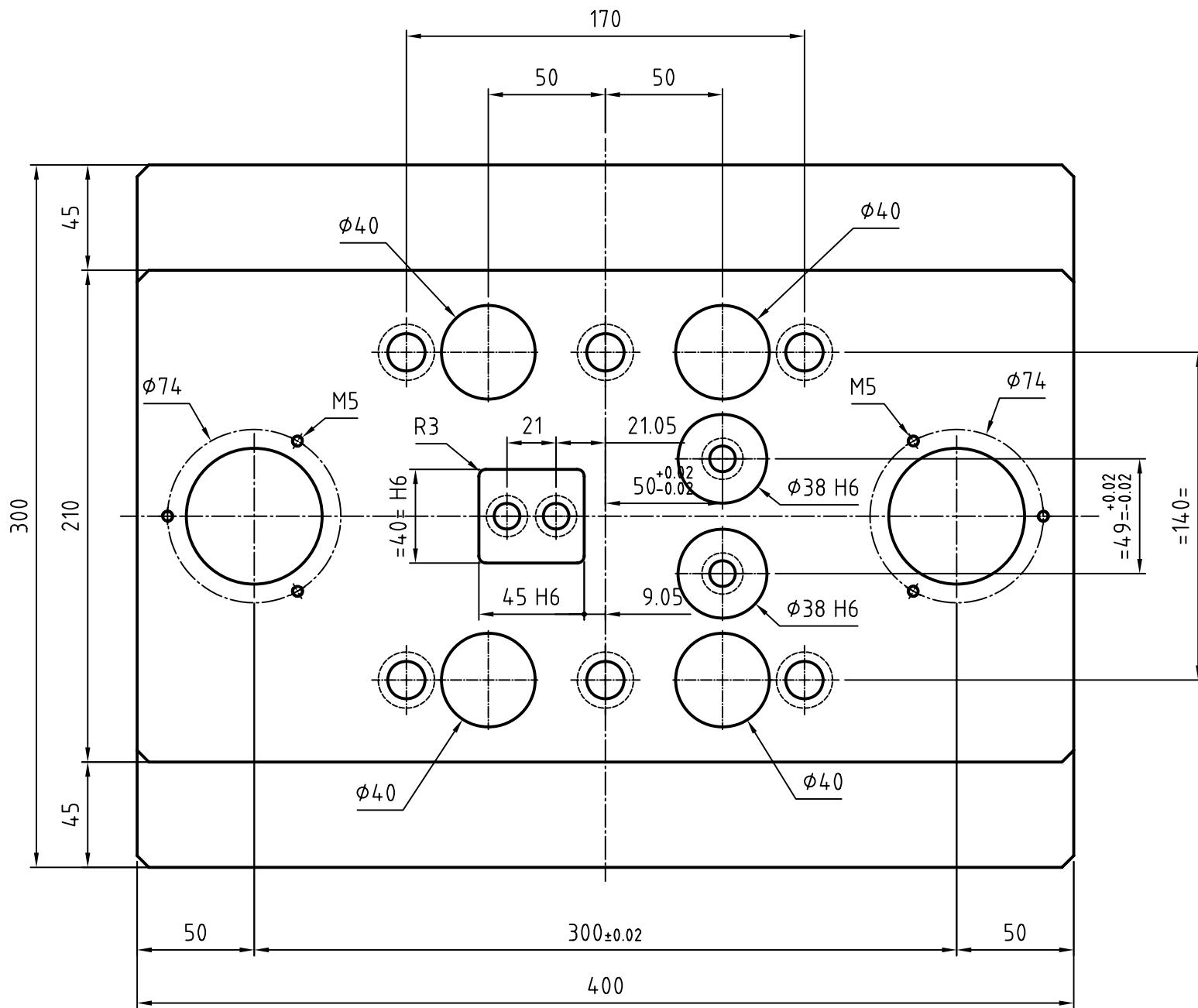
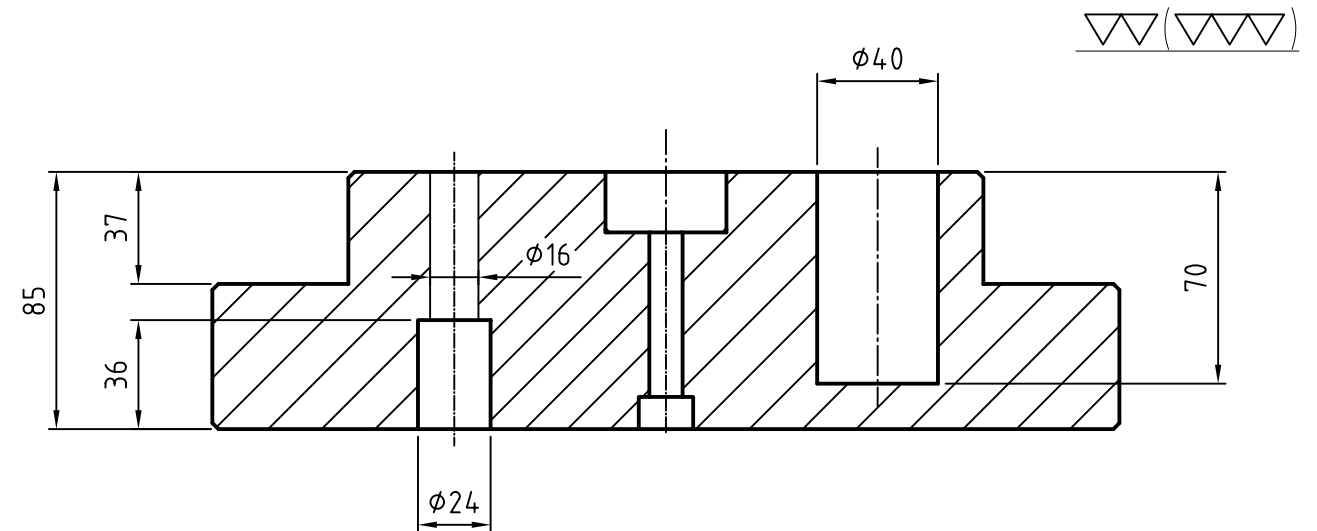
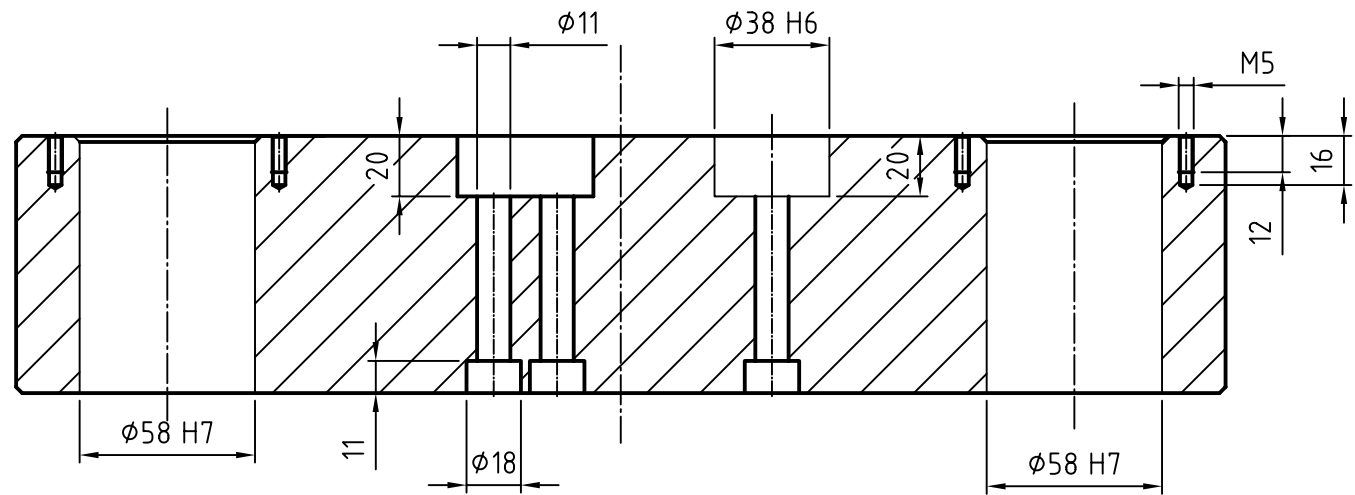
ESCALA:

1:1

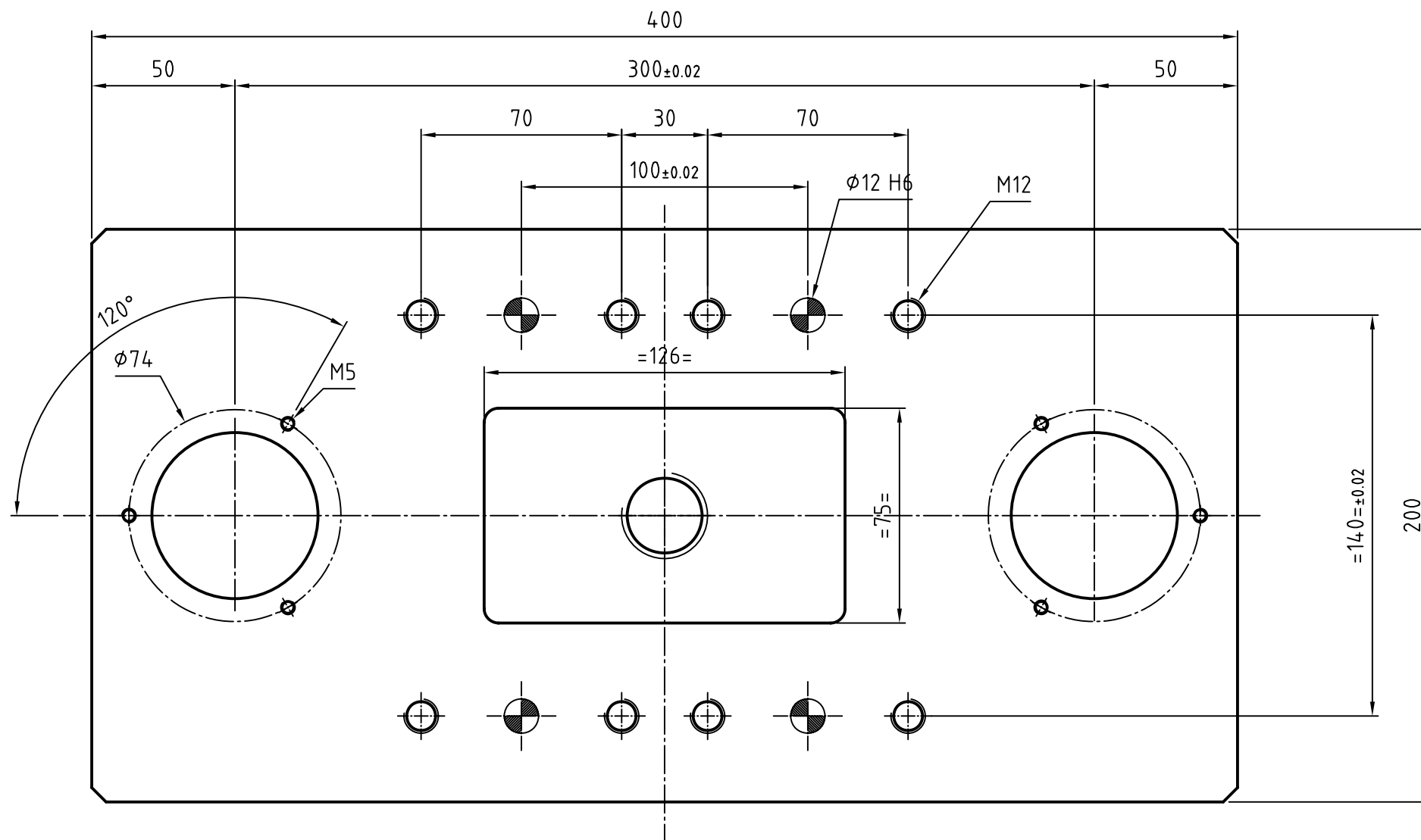
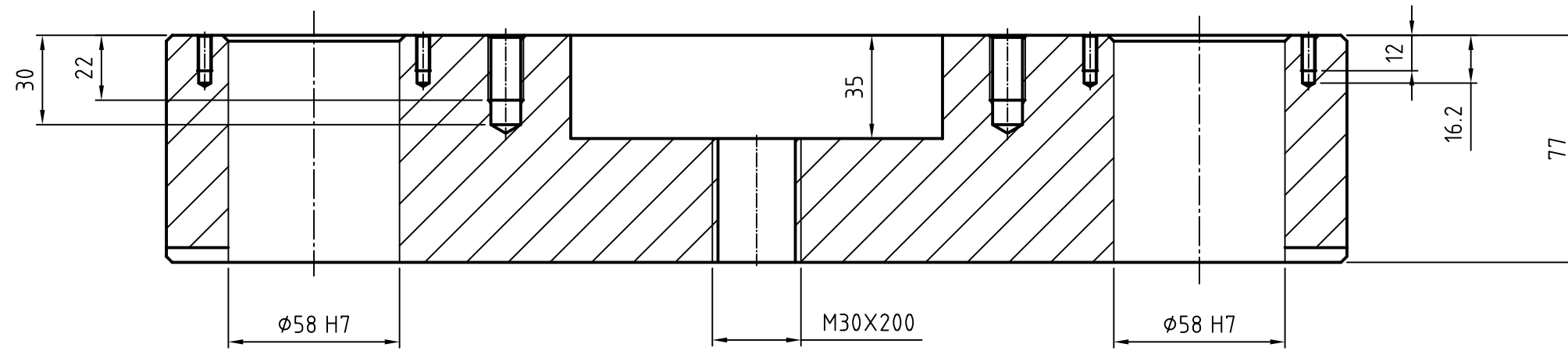
Nº PLANO:

UPNA

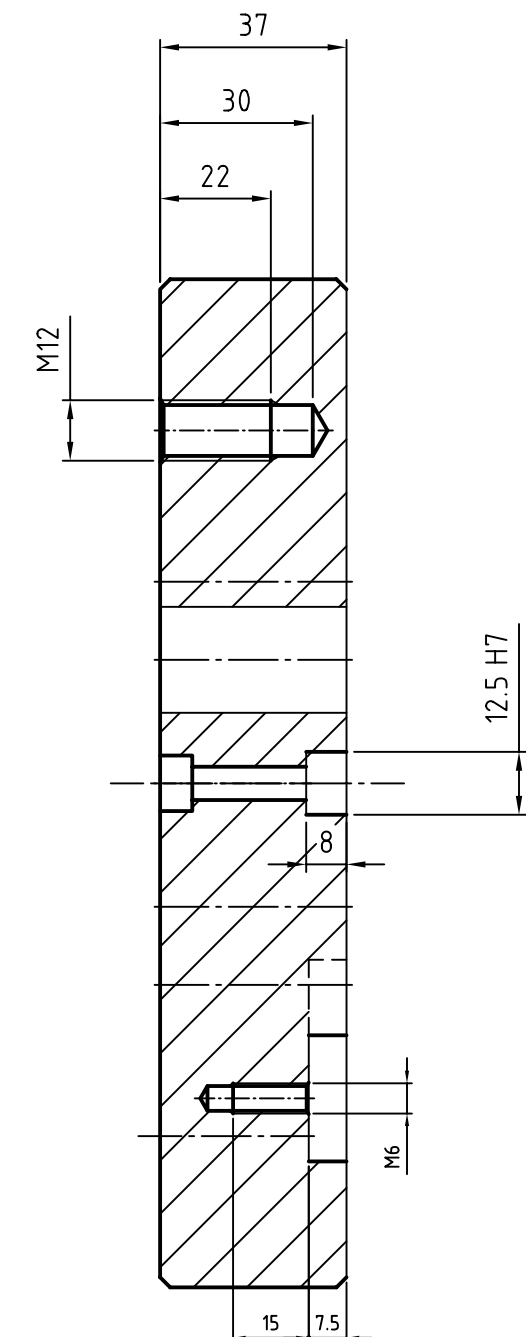
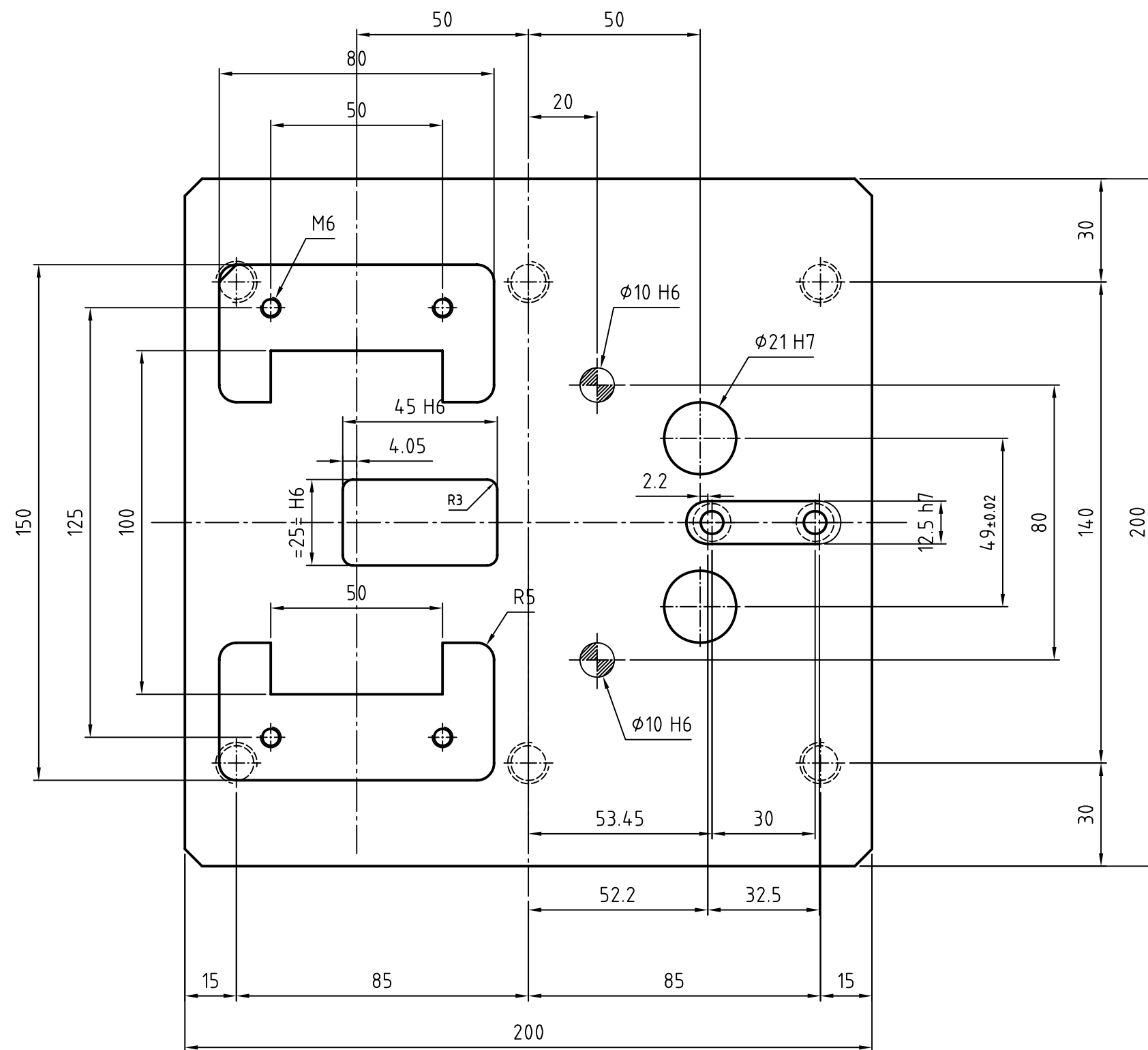
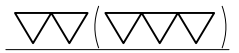
POSICIONADOR PIEZA



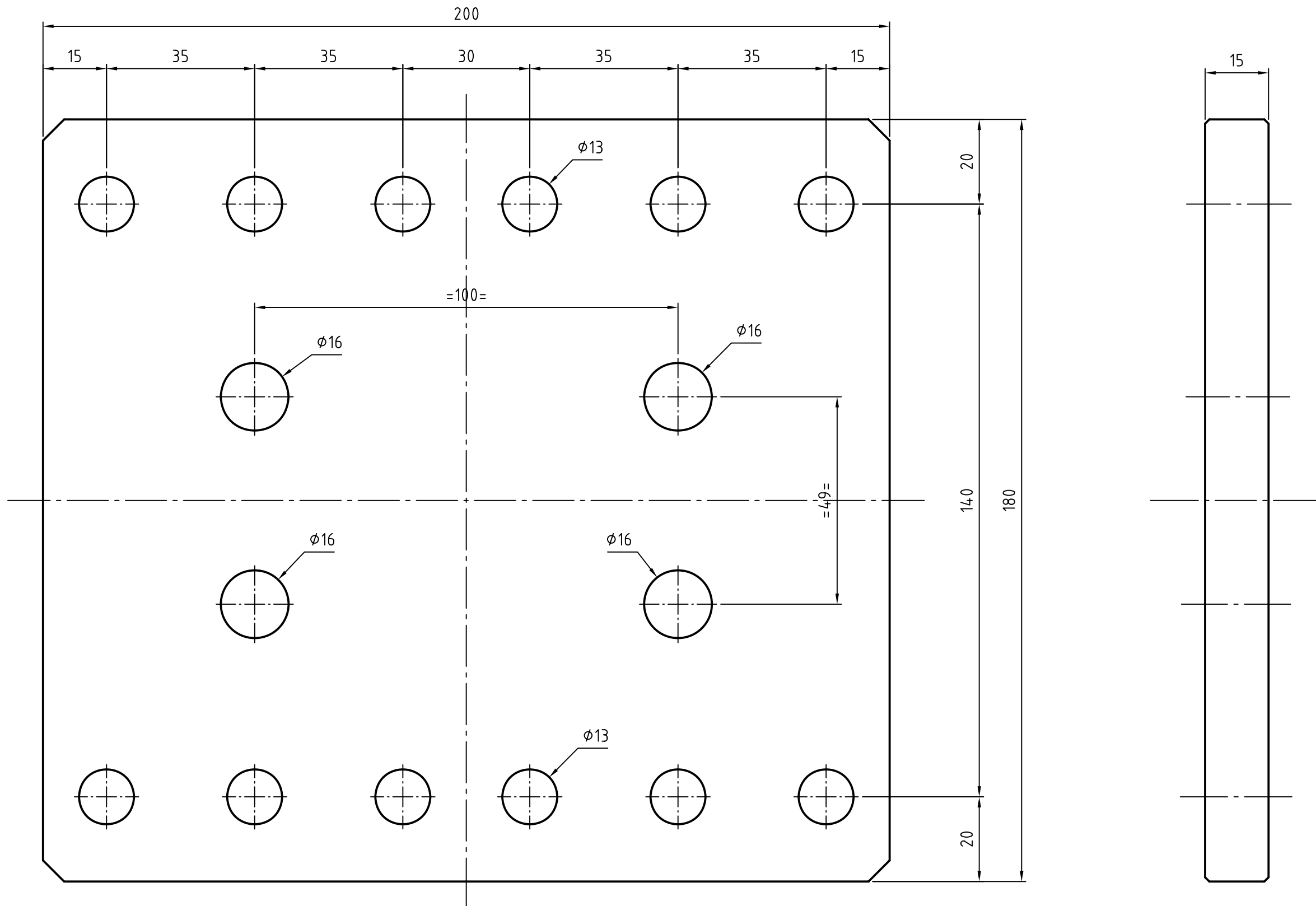
 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICA	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES
	PROYECTO: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"	REALIZADO: BARBARIN MATUTE, IÑAKI
PLANO: PLACA INFERIOR	FECHA: 09 / 2014	ESCALA: 1:1
		Nº PLANO: UPNA




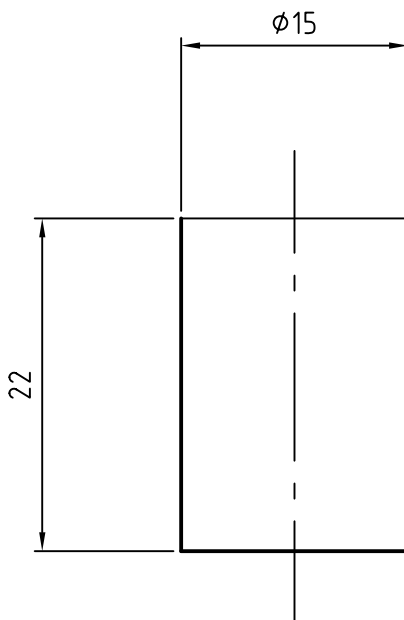
 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICA	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES
		REALIZADO: BARBARIN MATUTE, IÑAKI
PROYECTO: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"		FIRMA:
PLANO: PLACA SUPERIOR	FECHA: 09 / 2014	ESCALA: 1:1
		Nº PLANO: UPNA



 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICA	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES
	PROYECTO: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"	REALIZADO: BARBARIN MATUTE, IÑAKI
PLANO: PLACA PISADOR	FECHA: 09 / 2014	ESCALA: 1:1
		Nº PLANO: UPNA



 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE ING.	
	INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICA		MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES	
PROYECTO: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"			REALIZADO: BARBARIN MATUTE, IÑAKI	
PLANO: SUFRIDERA			FIRMA:	FECHA: 09 / 2014
			ESCALA: 1:1	Nº PLANO: UPNA



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.
**INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL MECÁNICA**

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE ING.
MECÁNICA, ENERGÉTICA Y
DE MATERIALES**

PROYECTO:

**DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES
PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"**

REALIZADO:

BARBARIN MATUTE, IÑAKI

FIRMA:

FECHA:

09 / 2014

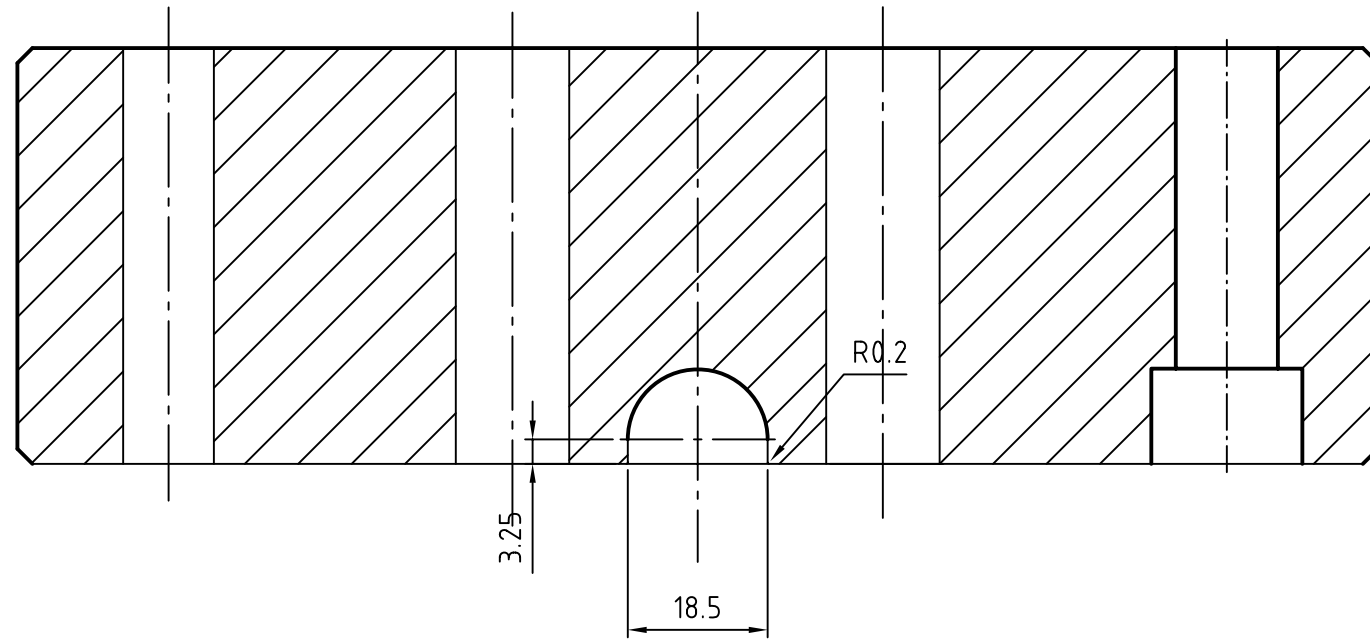
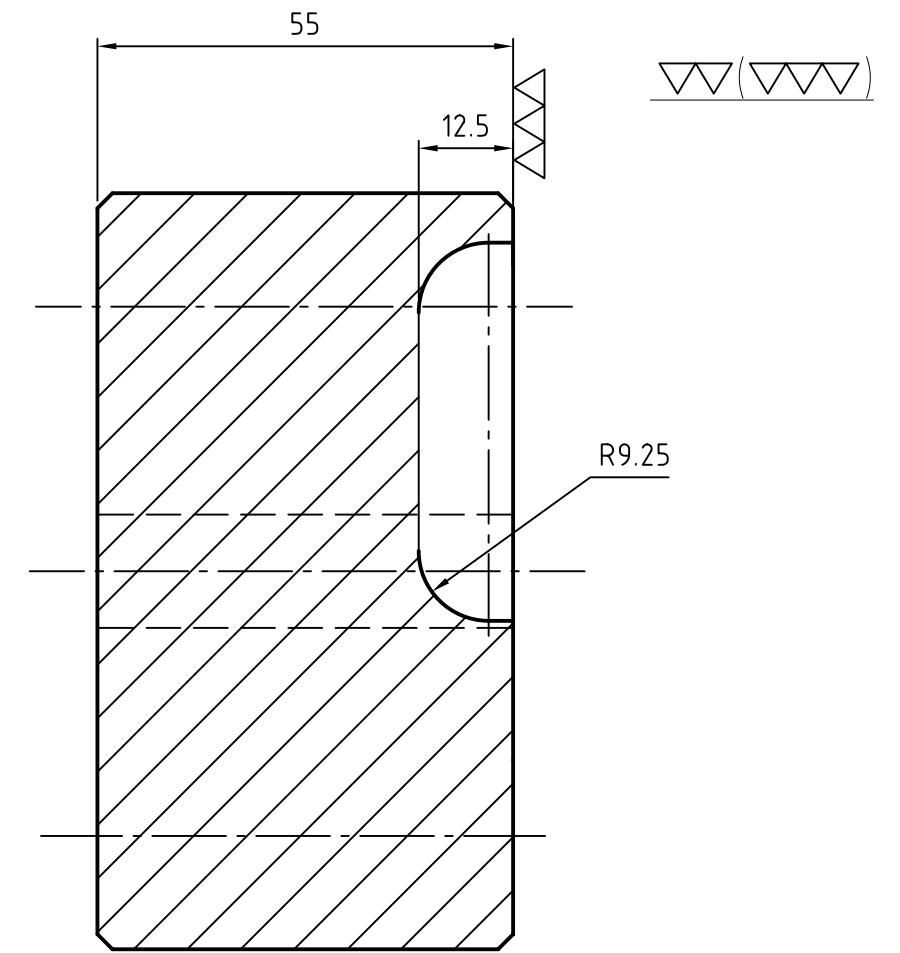
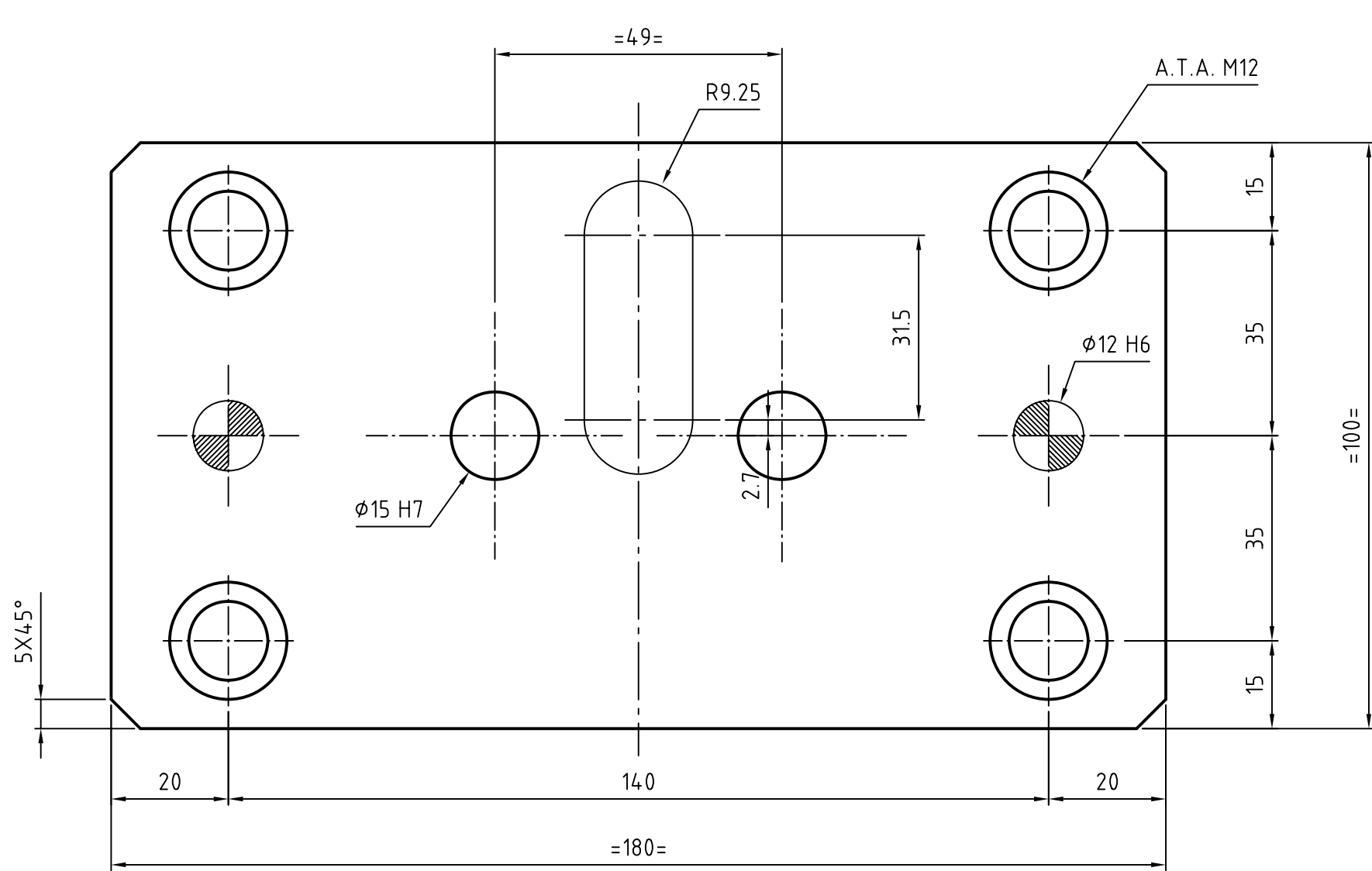
ESCALA:

1:1

Nº PLANO:

1:1

PUNZÓN EXPULSOR



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.
INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL MECÁNICA

DEPARTAMENTO:
DEPARTAMENTO DE ING.
MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE
MATERIALES

PROYECTO:

**DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES
PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"**

REALIZADO:

BARBARIN MATUTE, IÑAKI

FIRMA:

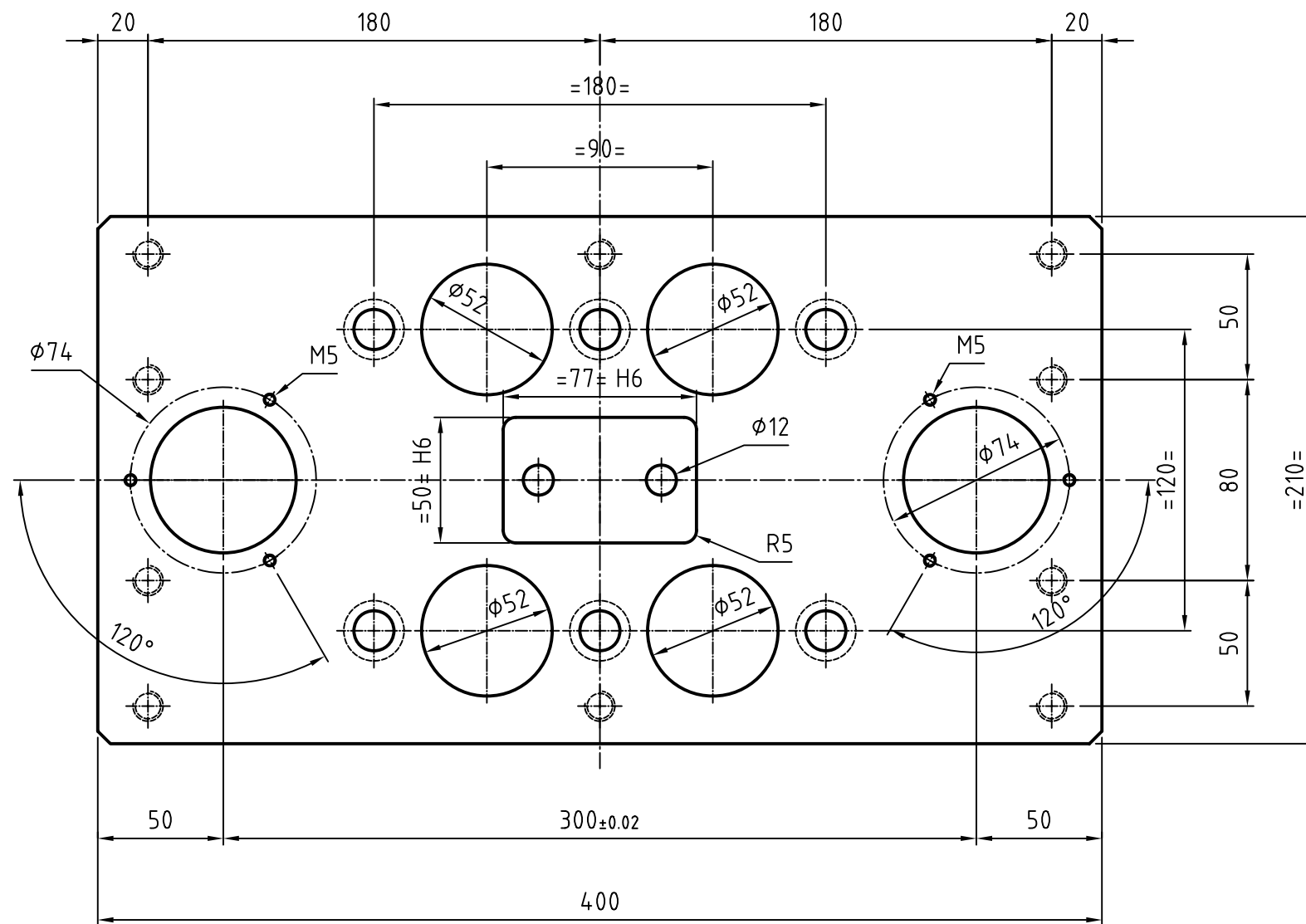
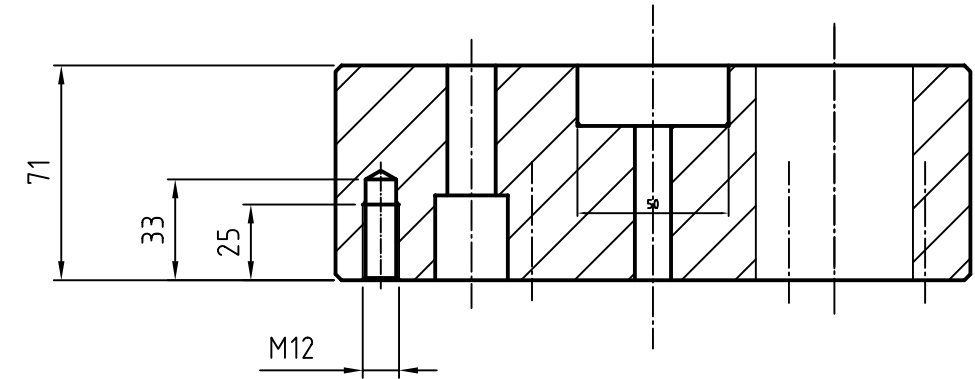
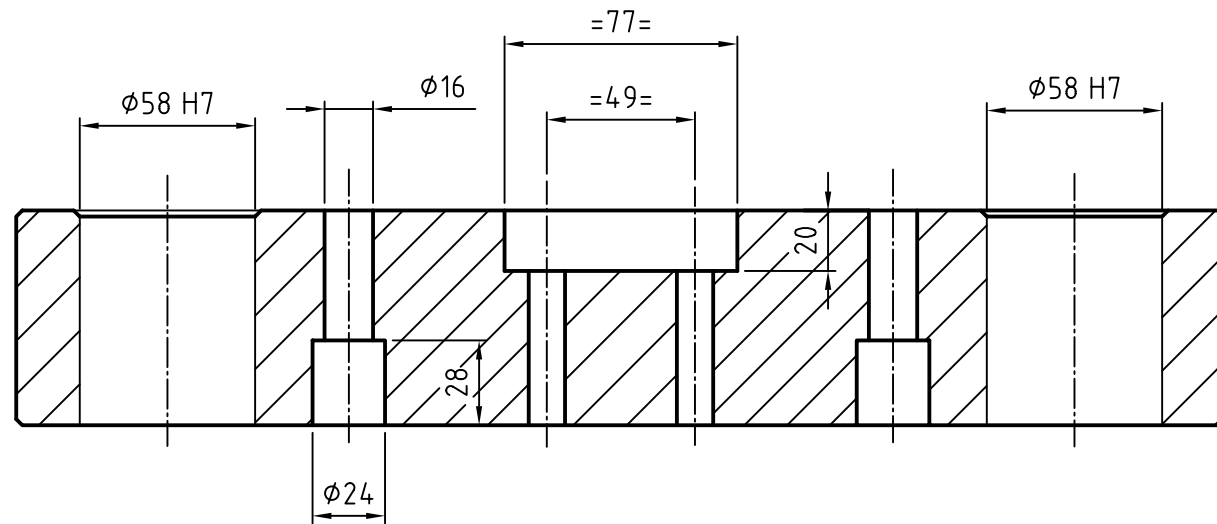
PLANO:


MATRIZ DE DOBLE

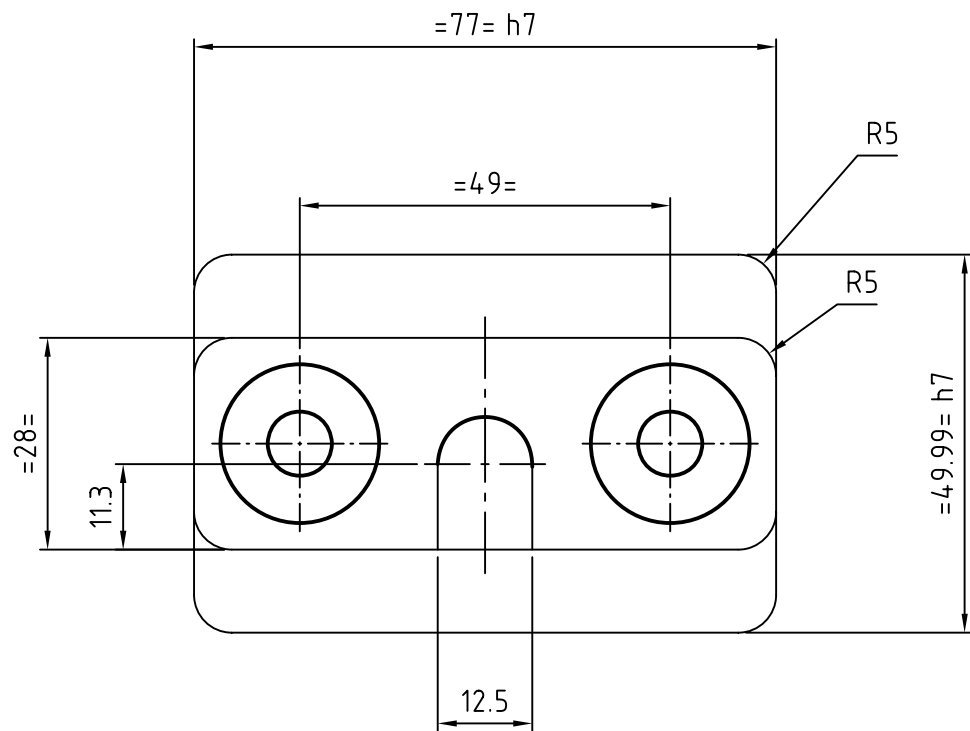
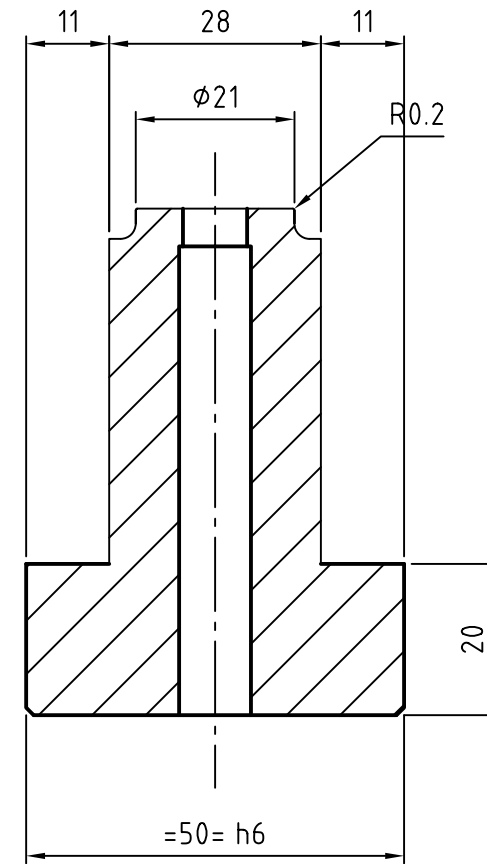
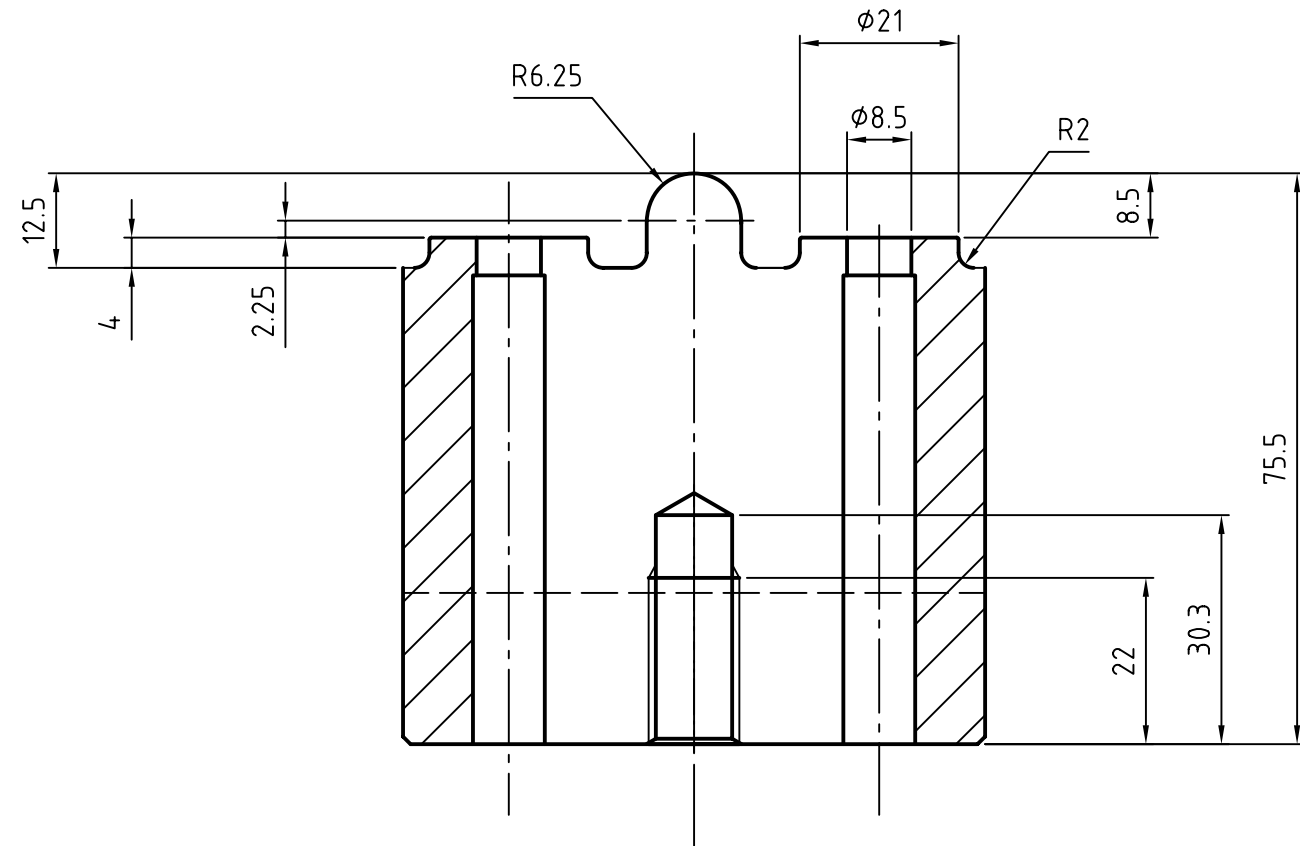
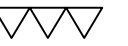
FECHA:
09 / 2014

ESCALA:
1:1

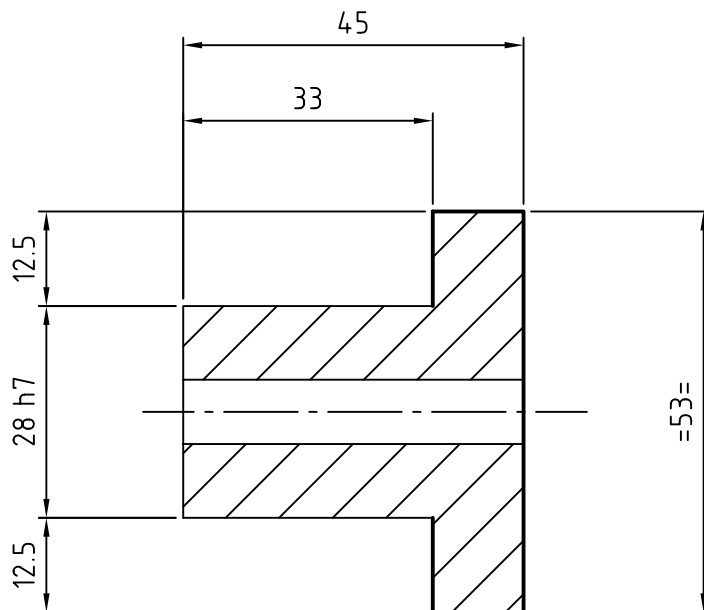
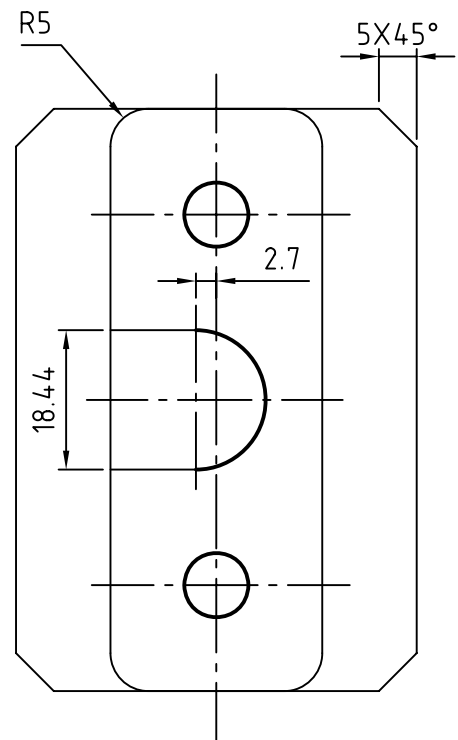
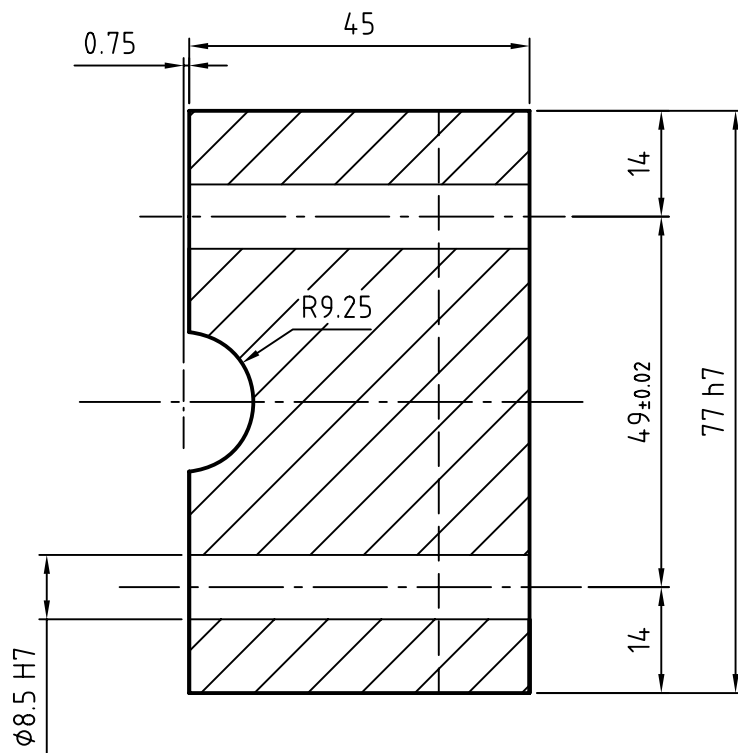
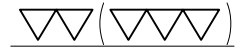
Nº PLANO:
UPNA



 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICA	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES
	PROYECTO: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"	REALIZADO: BARBARIN MATUTE, IÑAKI
PLANO: POSICIONADOR PIEZA	FECHA: 09 / 2014	ESCALA: 1:1
		Nº PLANO: UPNA



 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICA	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES
	PROYECTO: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"	REALIZADO: BARBARIN MATUTE, IÑAKI
PLANO: MACHO DE CORTE	FIRMA:	FECHA: 09 / 2014
		ESCALA: 1:1
		Nº PLANO: UPNA



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

**INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL MECÁNICA**

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE ING.
MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE
MATERIALES**

PROYECTO:

**DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES
PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"**

REALIZADO:

BARBARIN MATUTE, IÑAKI

FIRMA:

FECHA:

09 / 2014

ESCALA:

1:1

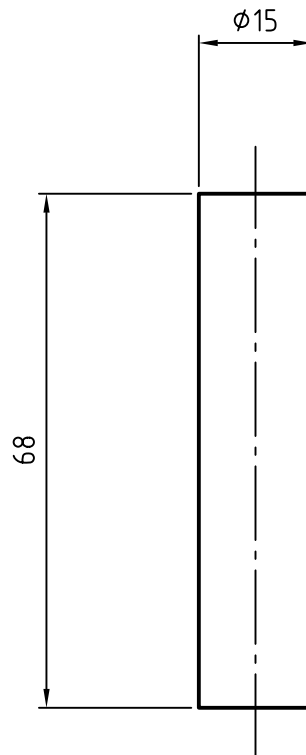
Nº PLANO:

UPNA

EXPULSOR PIEZA

upna

Todos los derechos reservados.
Eskubide guztiak erreserbatuta.



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

**INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL MECÁNICA**

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE ING.
MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE
MATERIALES**

PROYECTO:

**DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES
PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"**

REALIZADO:

BARBARIN MATUTE, IÑAKI

FIRMA:

FECHA:

09 / 2014

ESCALA:

1:1

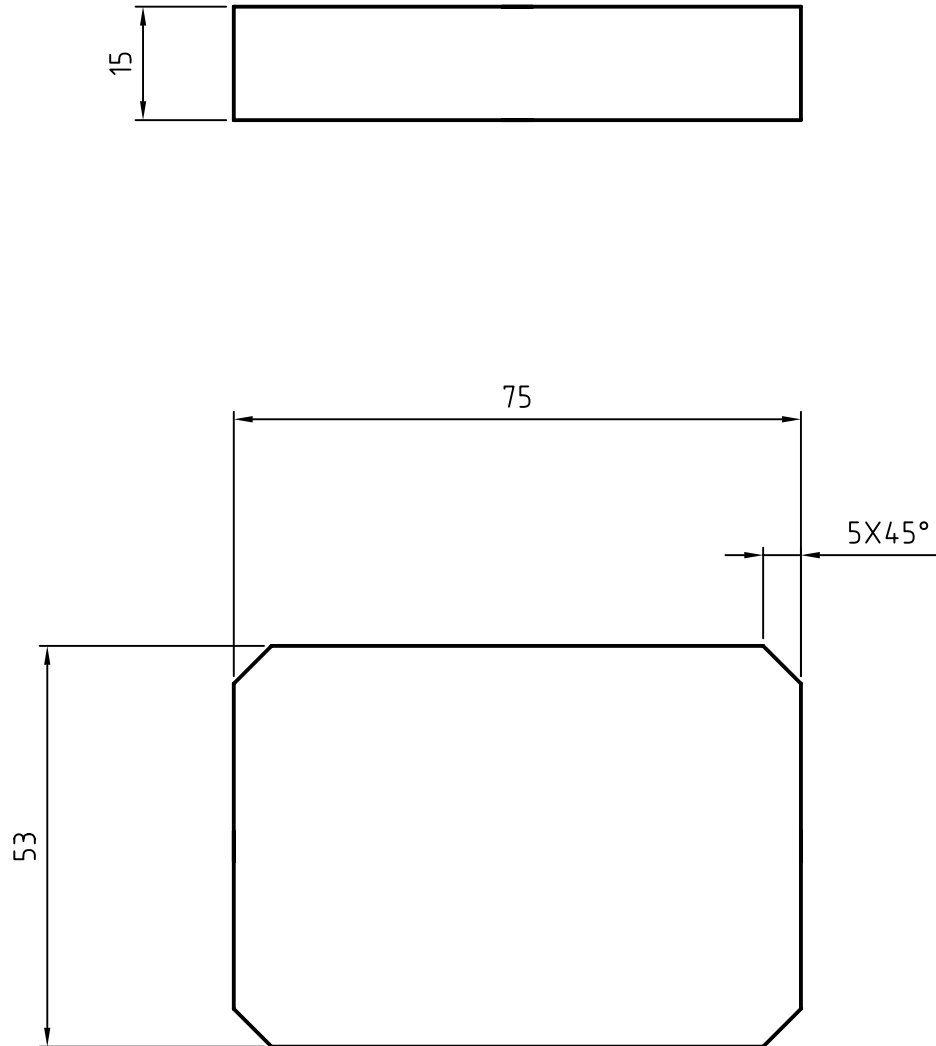
Nº PLANO:

UPNA

COLUMNA EXTRACTOR

upna

Todos los derechos reservados.
Eskubide guztiak erreserbatuta daude.



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.
INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL MECÁNICA

DEPARTAMENTO:
DEPARTAMENTO DE ING.
MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE
MATERIALES

PROYECTO:

DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES
PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"

REALIZADO:

BARBARIN MATUTE, IÑAKI

FIRMA:

FECHA:

09 / 2014

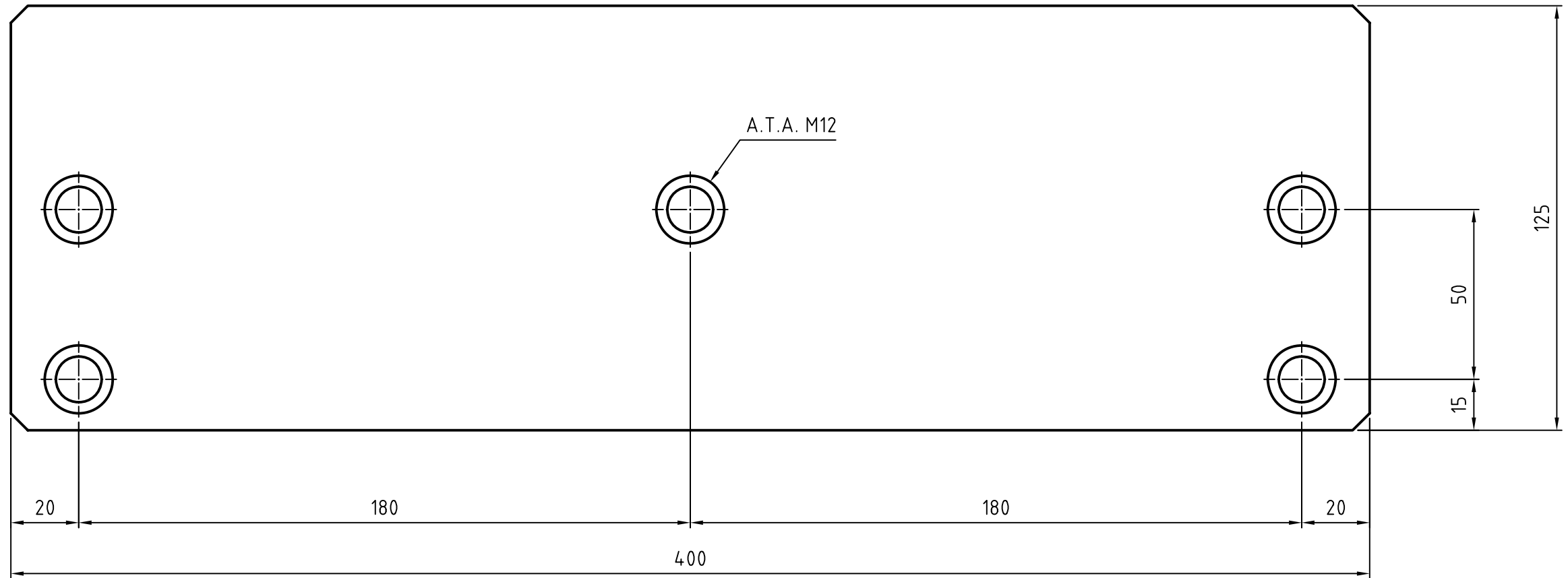
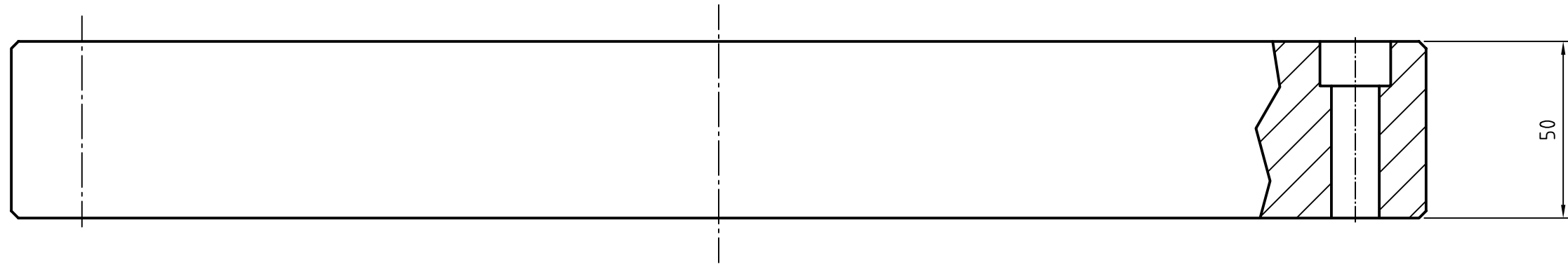
ESCALA:


1:1

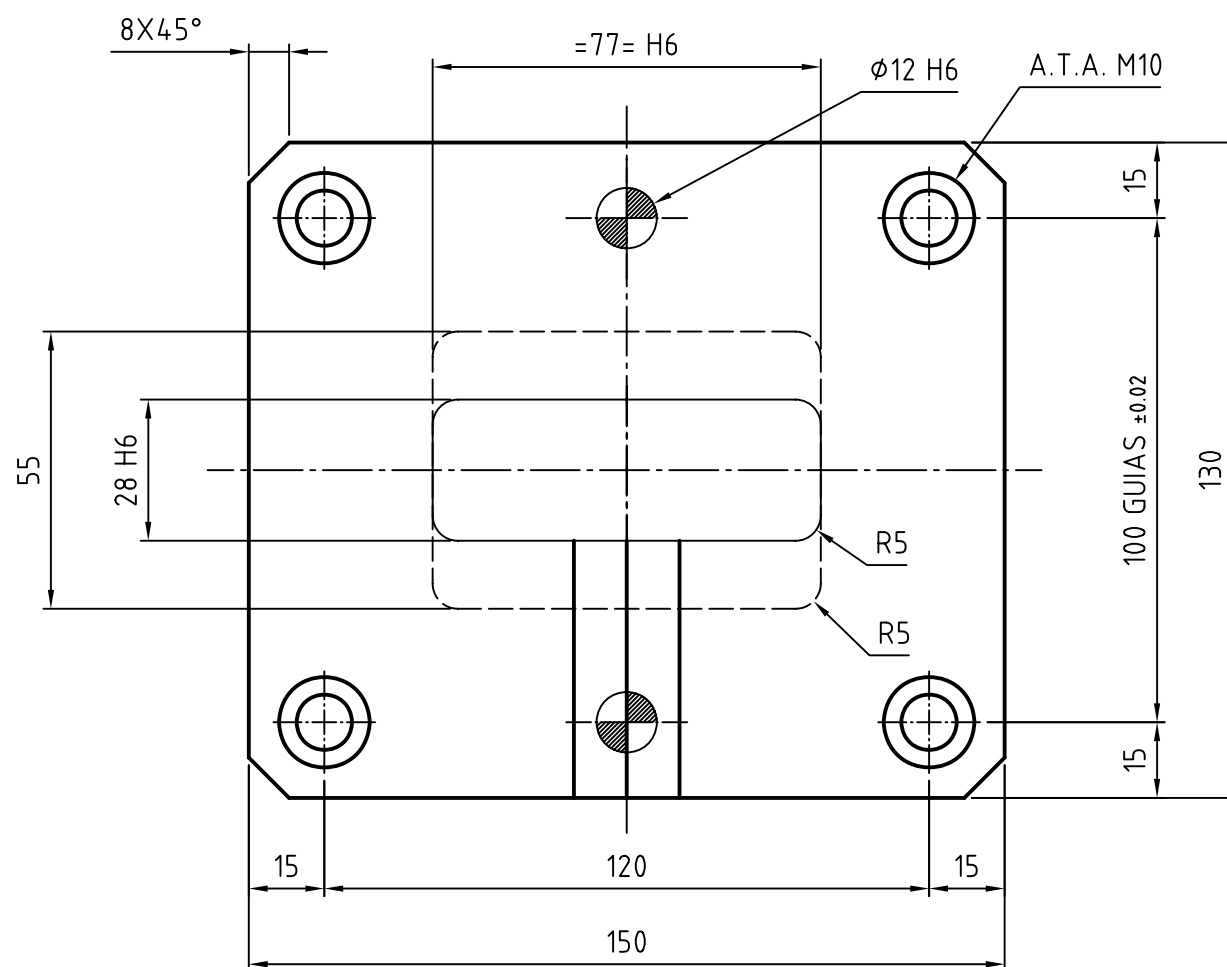
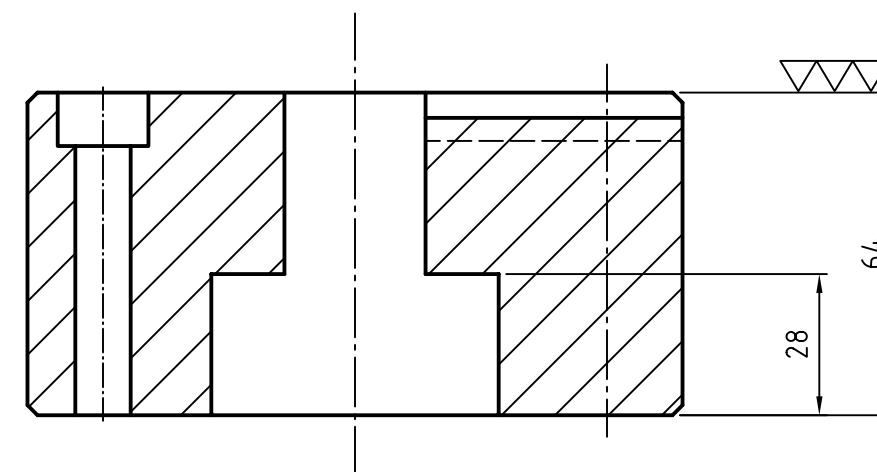
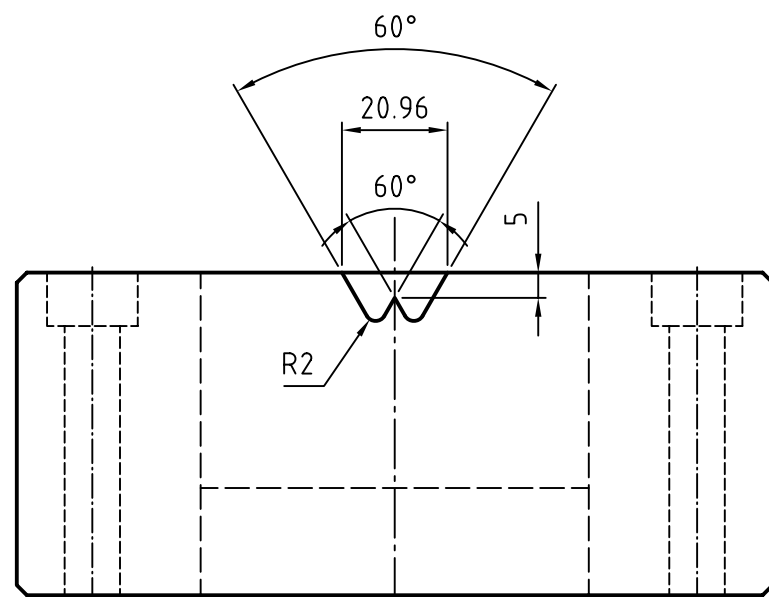
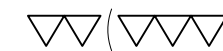
Nº PLANO:

UPNA

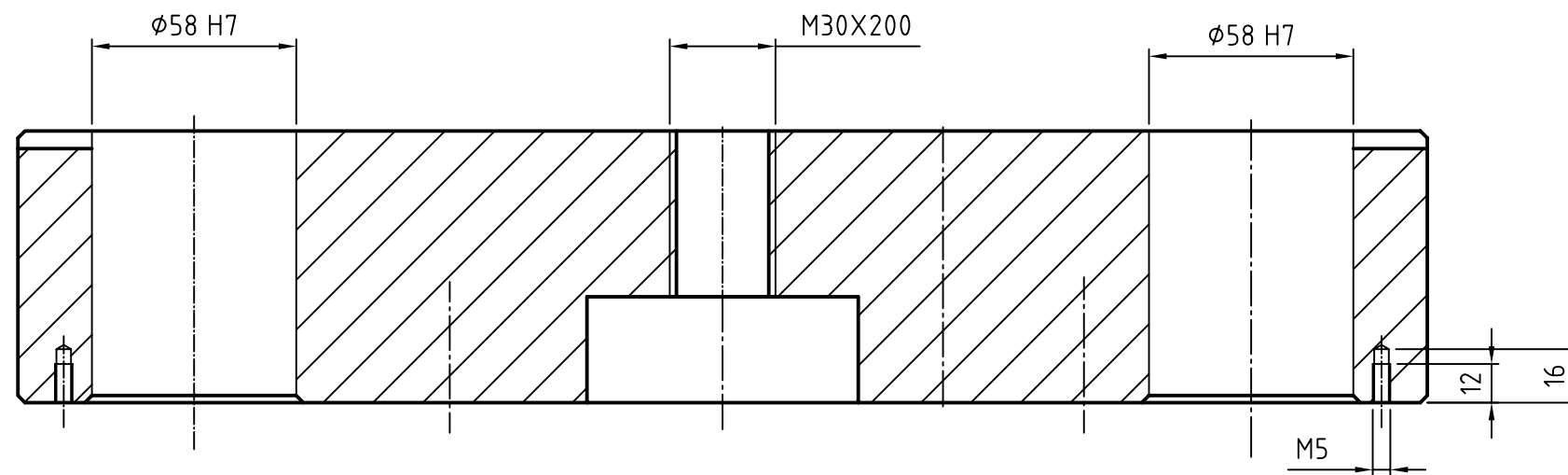
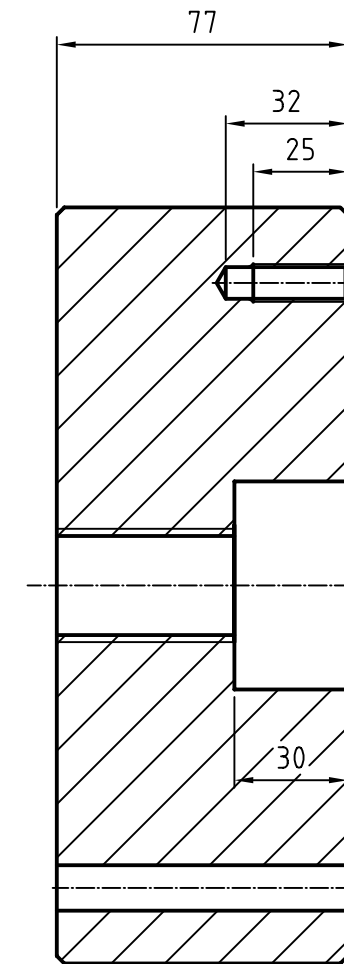
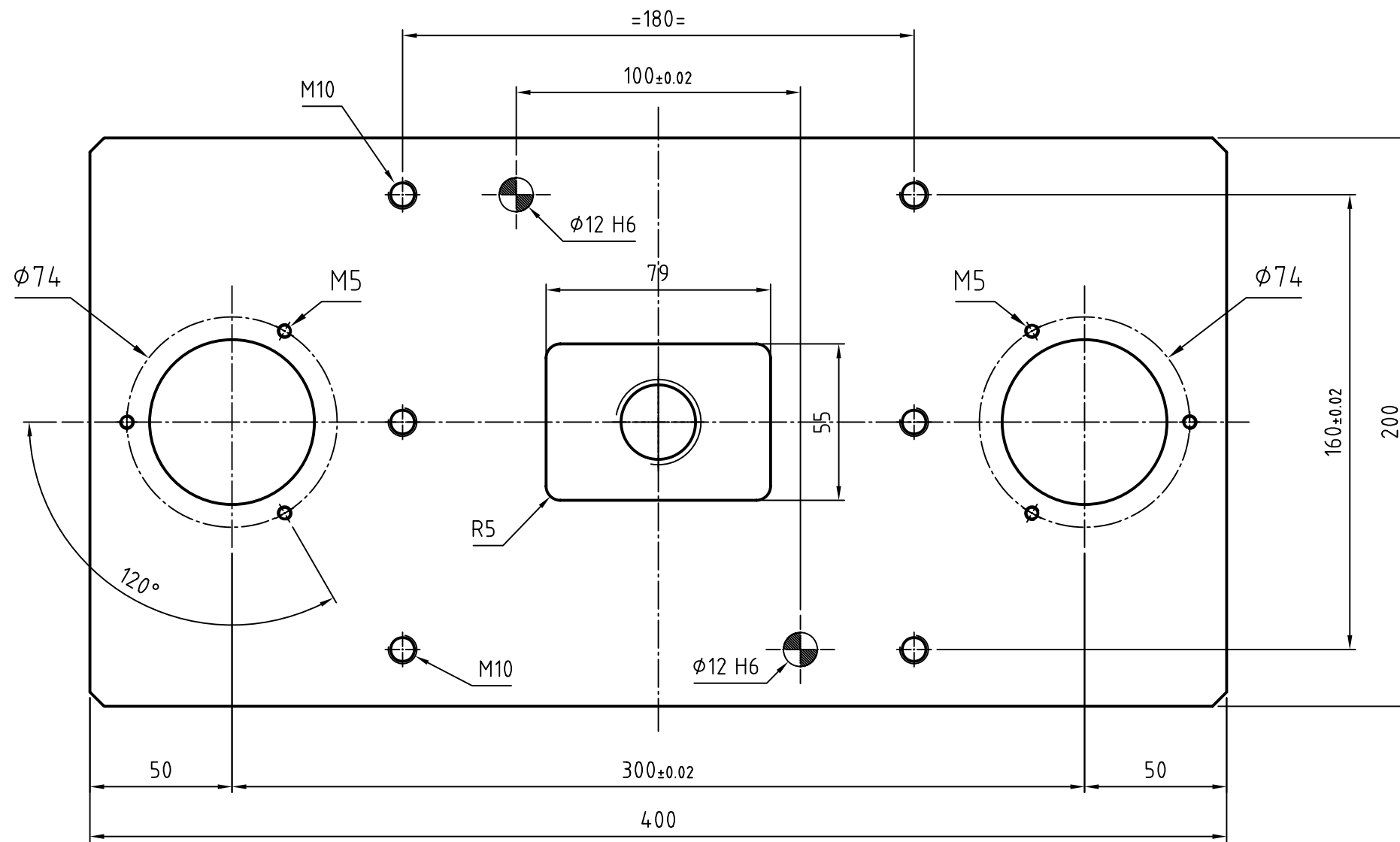
PLACA EXTRACTOR




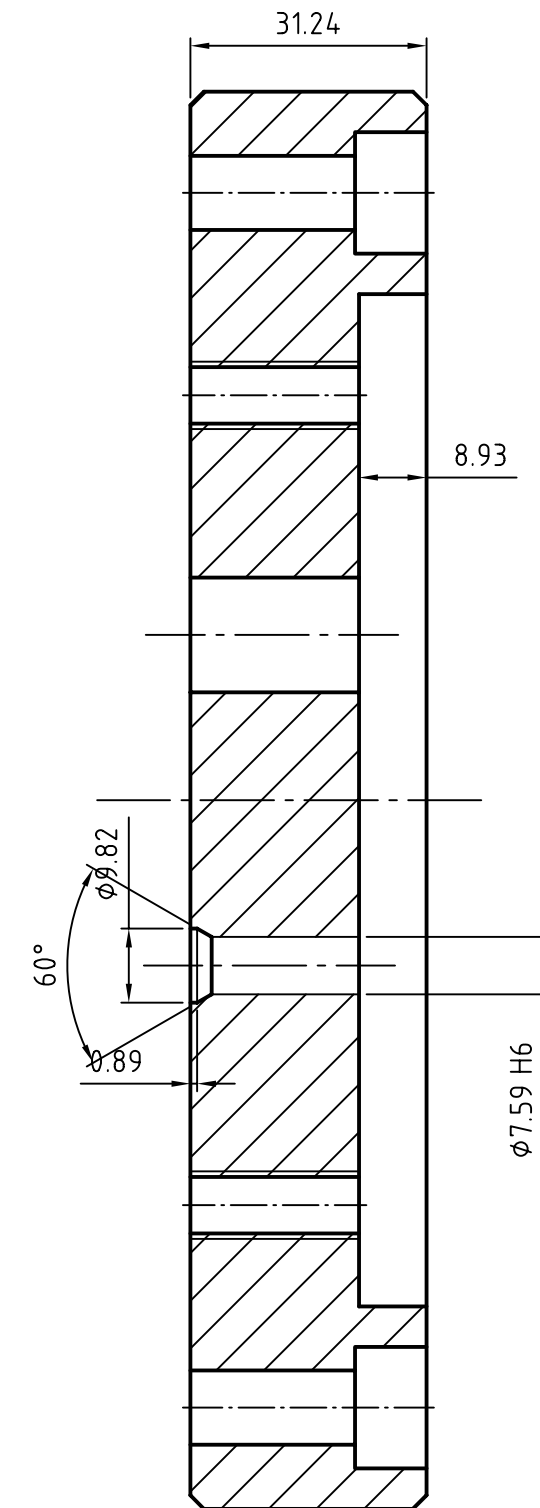
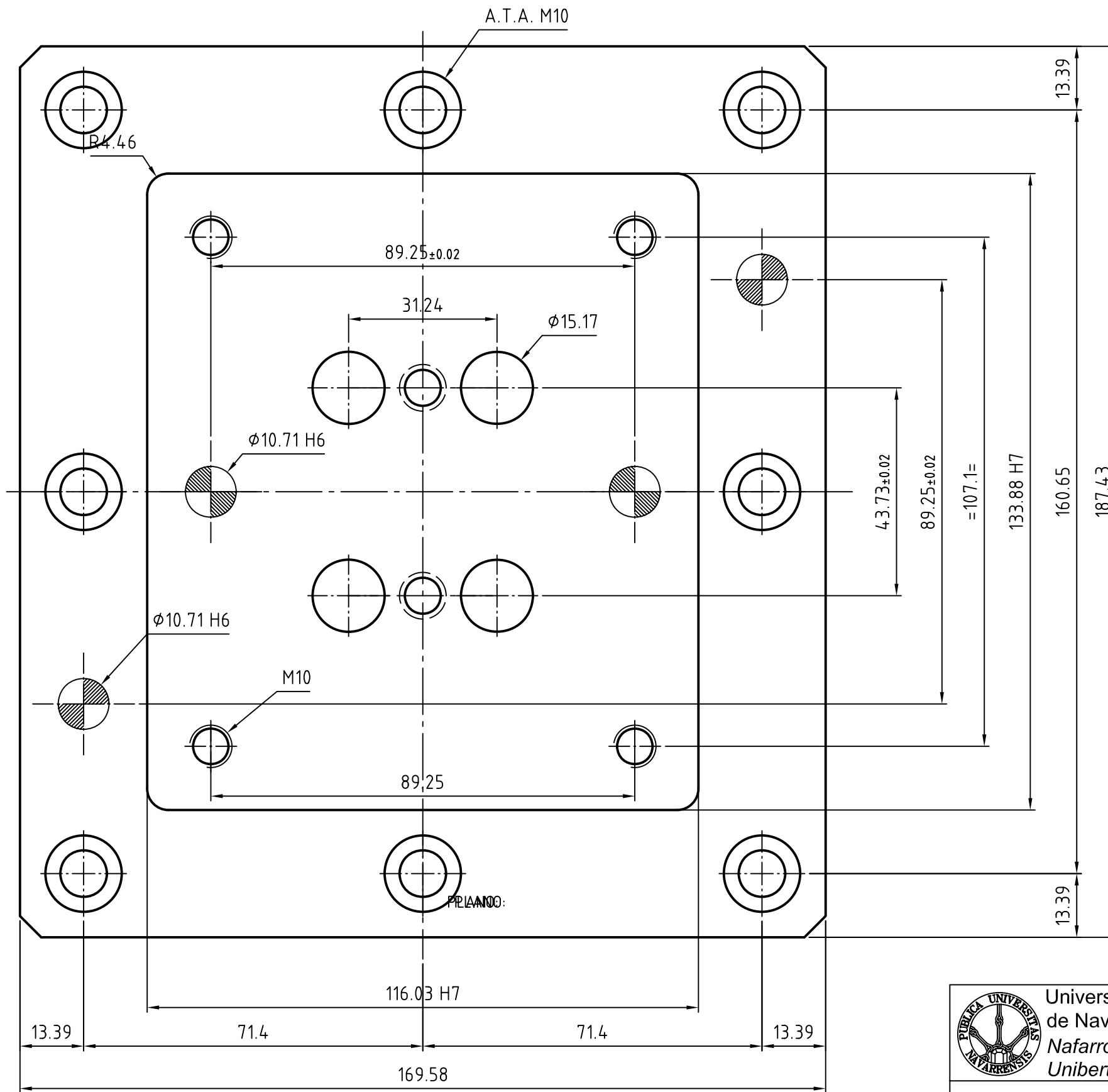
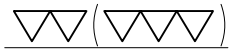
 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES
	INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICA	REALIZADO: BARBARIN MATUTE, IÑAKI
PROYECTO: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"		FIRMA:
PLANO:	POSICIONADOR PIEZA	FECHA: 09 / 2014
		ESCALA: 1:1
		Nº PLANO: UPNA



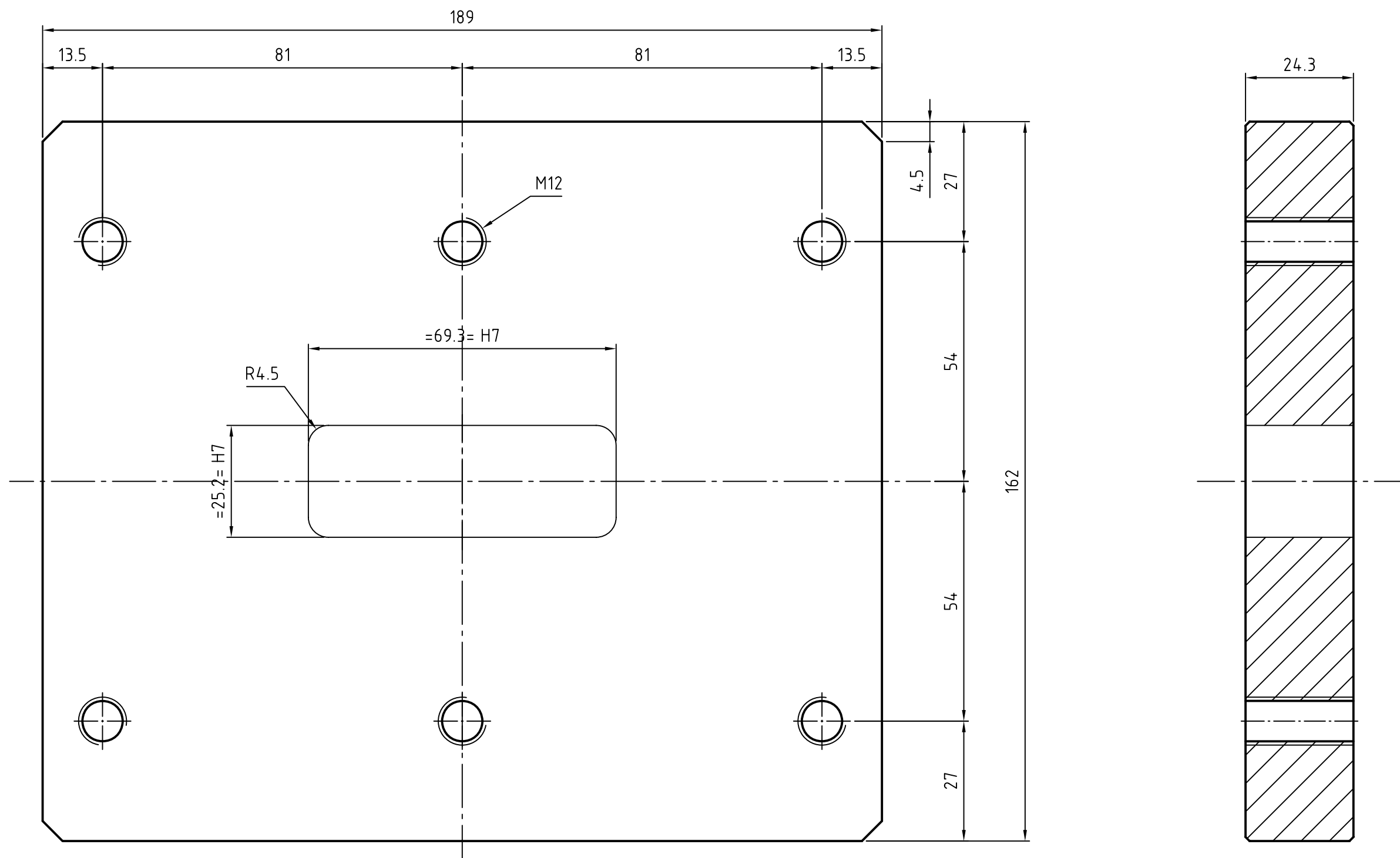
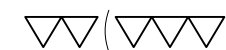
 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICA	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES
	PROYECTO: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"	
PLANO: POSICIONADOR PIEZA		REALIZADO: BARBARIN MATUTE, IÑAKI FIRMA:
	FECHA: 09 / 2014	ESCALA: 1:1
	Nº PLANO: UPNA	



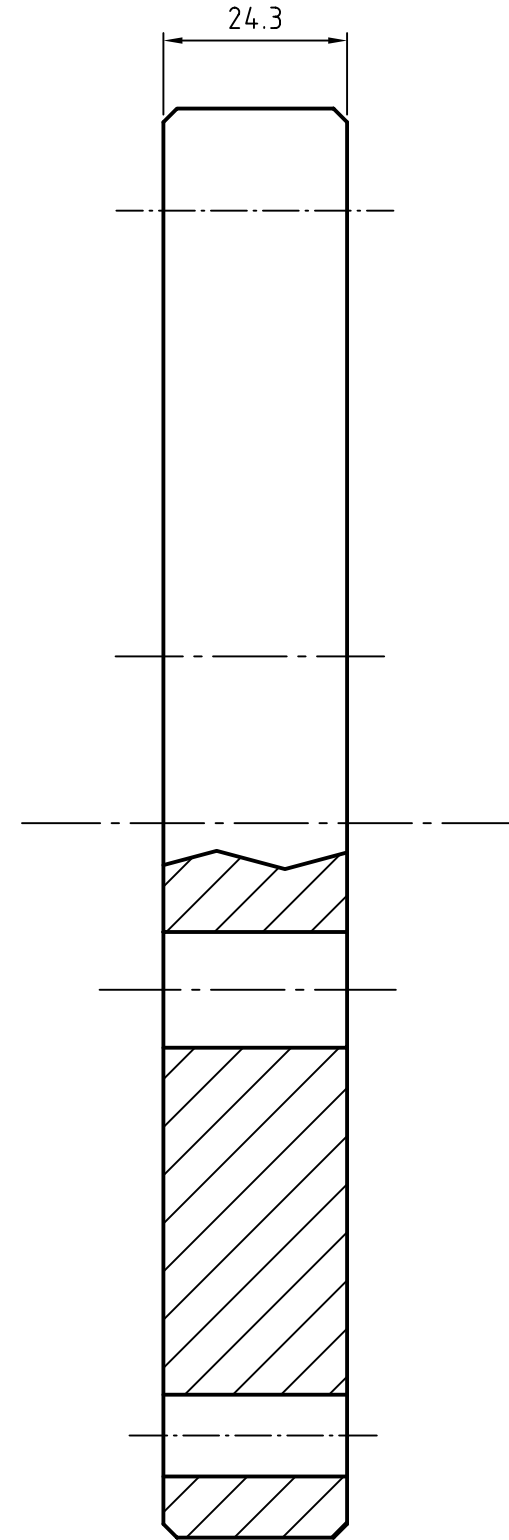
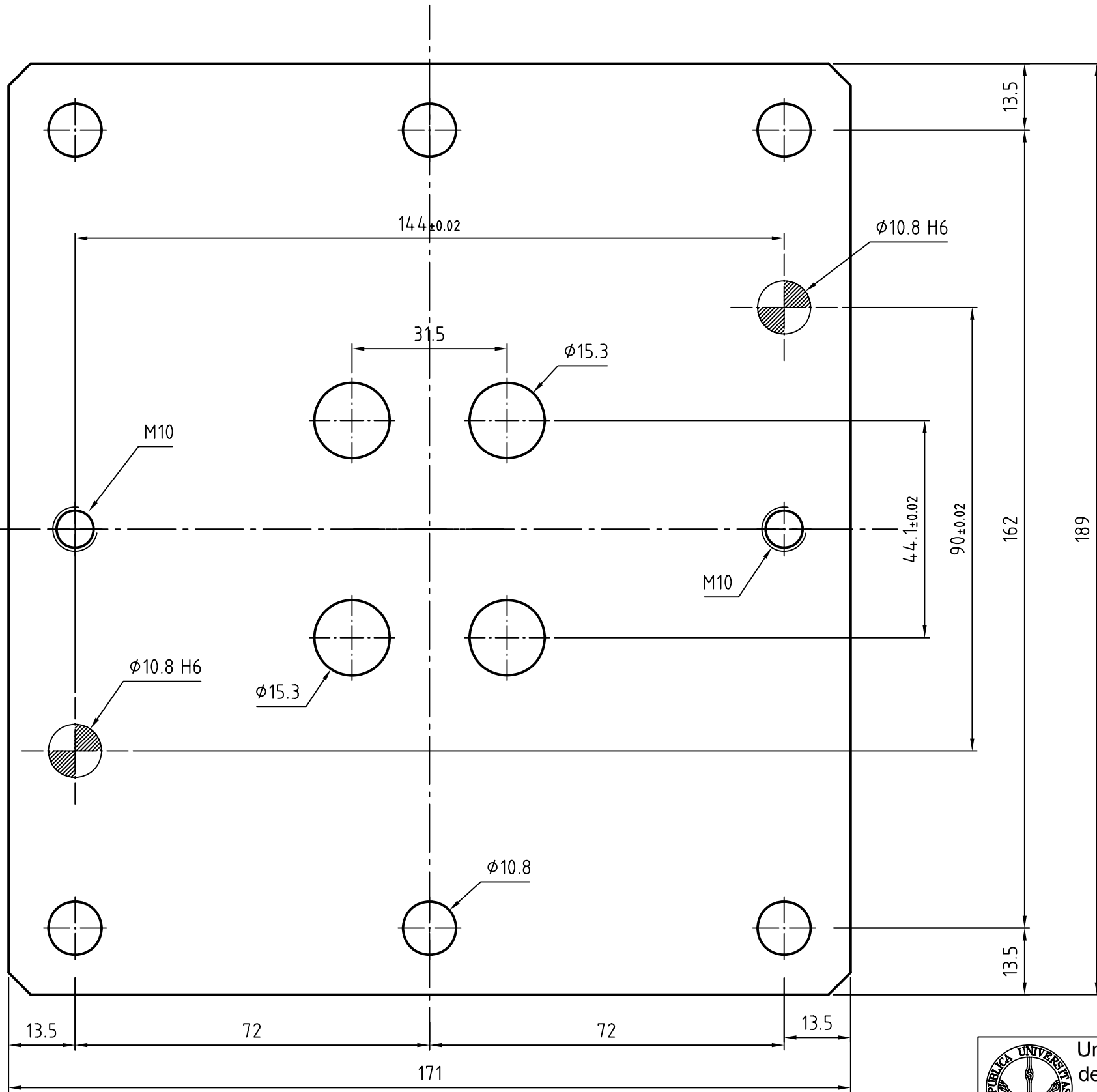
 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICA	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES
		REALIZADO: BARBARIN MATUTE, IÑAKI
PROYECTO: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"		FIRMA:
PLANO: POSICIONADOR PIEZA	FECHA: 09 / 2014	ESCALA: 1:1 Nº PLANO: UPNA



 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICA	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES
	PROYECTO: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"	
PLANO: PLACA PORTAPUNZONES		REALIZADO: BARBARIN MATUTE, IÑAKI FIRMA:
	FECHA: 09 / 2014	ESCALA: 1:1
		Nº PLANO: UPNA



 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICA	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES
	PROYECTO: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"	
PLANO: PISADOR INFERIOR		REALIZADO: BARBARIN MATUTE, IÑAKI FIRMA:
	FECHA: 09 / 2014	ESCALA: 1:1
		Nº PLANO: UPNA



 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICA	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES
	PROYECTO: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE TROQUELES PARA PIEZA "SOPORTE PULSADOR"	
PLANO: SUFRIDERA		REALIZADO: BARBARIN MATUTE, IÑAKI FIRMA:
	FECHA: 09 / 2014	ESCALA: 1:1
		Nº PLANO: UPNA