



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño  
Master Universitario en Diseño y Fabricación Integrada Asistida por Ordenador

**PROCESO CAD/CAM/CAE PARA LA FABRICACIÓN DE LA TIJA INFERIOR  
EN UN CICLOMOTOR.**

Por:

**Yósbel Abel Galavís Acosta**

**TRABAJO FINAL DE MASTER**

Presentado ante la ilustre Universidad Politécnica de Valencia  
como requisito parcial para optar a la titulación de  
Master en Diseño y Fabricación Integrada Asistida por Ordenador

**Valencia, Septiembre de 2013**

# **PROCESO CAD/CAM/CAE PARA LA FABRICACIÓN DE LA TIJA INFERIOR DE UN CICLO MOTOR.**

Realizado por:

Yósbel Abel Galavís Acosta

## **RESUMEN**

En el presente proyecto se realizó el estudio de procesamiento implicado en la elaboración de una tija inferior de un ciclomotor, mediante la aplicación de los fundamentos permitidos en el diseño, la ingeniería y la manufactura asistida por computador. Para esto, partiendo de modelos previos se desarrolló, mediante el software de diseño Creo 2.0, el modelado 3D de la pieza teniendo en consideración los requerimientos iniciales y necesidades a cumplir, aunado a los aspectos de fabricación que pudieran afectar a la conformación general de la pieza. Seguido, mediante el uso de programas de análisis mecánicos, específicamente la plataforma de Ansys Workbench 14.5, se realizó la evaluación de la pieza bajo condiciones teóricas y modelos propuestos, aproximando de esta manera el comportamiento general de la misma.

Una vez obtenido los resultados correspondientes, se establecieron los métodos más adecuados de fabricación, definiendo las mejores condiciones y los posibles efectos generados sobre la pieza, siendo seleccionados un procesado por forja y mecanizado. A partir de esto, mediante el uso de plataformas de simulado de forja, modelando mediante el software Simufact Forming 10, se determinaron los comportamientos producidos durante el análisis, permitiendo mejorar y obtener las condiciones más adecuadas.

Basado en los resultados y los requerimientos necesarios, a partir del módulo de mecanizado provisto en el software Creo 2.0, se definieron las condiciones y procesos de mecanizado requeridos para la elaboración de los distintos componentes a emplear durante la confección de la pieza (desde las matrices hasta el mecanizado de la propia pieza), definiendo cada uno de los parámetros necesarios, teniendo en cuenta los criterios de fabricación y bases fundamentales.

Por último se generó un pequeño análisis de costo asociado a la pieza a fin de dar un aproximado del presupuesto implicado en su fabricación.

## **DEDICATORIA**

Dedico estas palabras a mi madre, a mi padre y a mi hermano, que este logro sea una pequeña muestra de todo lo que les agradezco en la vida. Brindo por ustedes.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero tomar esta oportunidad para agradecer a aquellas personas que en el transcurso de este año han estado presentes y que de una u otra manera han sido parte de mi desarrollo profesional y personal.

Primero quiero agradecer a Blanca Albertina Casco Casco, quien me ha servido de apoyo en el transcurso de este año, a quien considero parte de mi familia y agradezco de sobremanera todo la ayuda, la compañía y las alegrías que me ha dado; gracias por haberme brindado tu cariño y sobre todo por ser la persona que veló por mí en estos momentos, en que mi familia se encuentra tan lejos, de todo corazón gracias por ser como eres y por mucho más.

A mis compañeros de Master, por mencionar a algunos, Alicia, Fernando Nuñez, Gurutxe, Isabel, Laura, Luís, Miguel, Paola, a todos y cada uno de los que conocí, gracias por su compañía y apoyo durante el transcurso del mismo, como también en la realización de este proyecto, espero estas pocas palabras muestren todo el aprecio y estimo que les tengo. Nuevamente, gracias por compartir esta etapa y ser parte importante de ella.

A mi tutor de proyecto, el Profesor Santiago Gutiérrez, a quien agradezco enormemente por asesorarme y por ayudarme en la realización de esta tesis, y que gracias a su apoyo logré finalizar.

Por último, pero no menos importante, agradezco a la tan ilustre Universidad Politécnica de Valencia, por acogerme en su seno y durante el transcurso de los estudios que realicé servirme como segunda casa.

## INDICE GENERAL

<b>RESUMEN .....</b>	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>III</b>
<b>INDICE GENERAL.....</b>	<b>IV</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>1</b>
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>3</b>
OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo General.....	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
2.3 Justificación.....	3
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>5</b>
MARCO TEÓRICO .....	5
3.1 Antecedentes.....	5
3.2 Tecnologías de fabricación.....	6
3.2.1 Forja.....	6
3.2.1.1 Forja por estampación .....	7
3.2.2 Tratamientos térmicos .....	10
3.2.2.1 Tratamiento térmico T6.....	11
3.2.3 Granallado .....	11

3.2.4 Mecanizado a 5 ejes posicionados.....	13
3.3 Desarrollo ingenieril asistido por ordenador. ....	14
3.3.1 Software de diseño .....	15
3.3.1.1 Software Creo 2.0 .....	17
3.3.2 Software de ingeniería .....	18
3.3.2.1 Software Ansys Workbench .....	18
3.3.2.2 Simufact forming 10 .....	19
3.3.3 Software para mecanizado.....	21
3.3.3.1 Plataforma de mecanizado en Creo 2.0. ....	21
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>23</b>
<b>METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>23</b>
4.1 Objeto de estudio.....	23
4.1.1 Requerimientos funcionales. ....	24
4.1.1.1 Irregularidades en recta .....	24
4.1.1.2 Frenada .....	25
4.1.1.3 Irregularidades en curva .....	26
4.1.2 Características de diseño. ....	28
4.1.3 Modelado 3D para conformación geométrica .....	29
4.2 Selección de materiales. ....	32
4.3 Método de fabricación.....	35
4.4 Modelado 3D de tija inferior. ....	38
4.5 Análisis mecánico de la pieza.....	43
4.5.1 Simulación para condición en presencia de irregularidades en recta. ....	52
4.5.2 Simulación para condición durante el frenado. ....	54
4.5.3 Simulación para condición en presencia de irregularidades en curva. ....	56

4.6 Análisis del proceso de fabricación.....	56
4.6.1 Modelado de matrices para forja .....	57
4.7.2 Modelado de proceso de forja .....	63
4.8 Modelado mecánico de tija inferior para suspensión.....	83
4.8.2 Modelado mecánico de matriz de corte.....	92
4.8.3 Mecanizado final de tija inferior.....	96
4.9 Estimación de costos para la obtención de tija inferior.....	103
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>105</b>
<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>105</b>
5.1 Conclusiones.....	105
<b>BIBLIOGRAFÍAS.....</b>	<b>107</b>
<b>APÉNDICE .....</b>	<b>110</b>
A.1 Parámetros para cálculos de coste .....	110
A.2 Pliego de condiciones .....	111
A.2.1 Condiciones técnicas .....	111
A.2.2 Condiciones económicas .....	112
A.3 Planos.....	112

## INDICE DE FIGURAS

Fig. 3.1: Matrices y material en la forja por estampado.....	7
Fig. 3.2: Prensas para forja por estampado: (a) Prensa hidráulica y (b) Prensa Mecánica....	8
Fig. 3.3: Forja por estampado: (a) Sin flash y (b) Con flash. ....	9
Fig. 3.4: Modelo de máquina CNC de 5 ejes. ....	14
Fig. 3.5: Modelado 3D de motor a vapor en software de diseño asistido por ordenador....	17
Fig. 3.6: Plataforma de Creo Parametric 2.0. ....	17
Fig. 3.7: Plataforma de ANSYS WORKBENCH 14.5. ....	19
Fig. 3.8: Plataforma de Simufact forming 10. ....	20
Fig. 3.9: Plataforma Creo 2.0 Parametric para modelado de mecanizado.....	22
Fig. 4.1: Modelos de tija inferior (a) modelo genérico, (b) Aprilia RS50, (c) SUZUKI GSXR 1000 K7 K8 y (d) KAWA Z1000 08. ....	24
Fig. 4.2: Generación de fuerzas en presencia de irregularidades en recta.....	25
Fig. 4.3: Relación angular y dirección de las fuerzas en una curva. ....	26
Fig. 4.4: Distribución de esfuerzos y momentos en irregularidades presentes en curvas. .	27
Fig. 4.5: Conformación mecánica y partes conformantes del sistema de suspensión frontal de una moto. ....	28
Fig. 4.6: Modelado inferior de parte delantera de un ciclo motor. ....	29
Fig. 4.7: Modelado superior de parte delantera de un ciclo motor.....	30
Fig. 4.8: Tija inferior montada sobre ciclomotor.....	31

Fig. 4.9: Esbozo dimensional de ejes telescópicos y eje central para modelado de la tija..	31
Fig. 4.10: Relación Módulo de Young's vs. Resistencia a la fatiga para distintos materiales en el CES. ....	32
Fig. 4.11: Materiales metálicos y aleaciones comprendidos para selección de material.....	33
Fig. 4.12: Posibles candidatos a selección bajo relación Módulo de Young's vs. Densidad en CES. ....	34
Fig. 4.13: Propiedades físico químicas del aluminio EN-AW 6082 T6.....	34
Fig. 4.14: Árbol de selección de modelo de forma en software CES.....	36
Fig. 4.14: Relación de Rango de peso vs. Material EN-AW 6082 T6 .....	36
Fig. 4.15: Relación Tolerancia vs. Proceso de conformado primario. ....	37
Fig. 4.16: Relación de Rangos de espesores vs. Forma Sólido 3D con salientes transversales simples. ....	38
Fig. 4.17: Desarrollo geométrico y modelado parcial de tija. ....	39
Fig. 4.18: Plano de partición (color morado) para tija inferior.....	40
Fig. 4.19: Visualización de ángulo de desmoldeo asignado para la tija.....	40
Fig. 4.20: Redondeo de ángulos rectos en el modelado parcial de la tija.....	41
Fig. 4.21: Ranurado y adición de salientes transversales en modelo 3D de la tija inferior. ....	41
Fig. 4.22: Modelado parcial y complementado simétrico de la tija inferior. ....	42
Fig. 4.23: Modelado CAD 3D final de tija inferior.....	43
Fig. 4.24: Modelado de tija y ejes principales en Ansys Workbench. ....	45
Fig. 4.25: Sistema de análisis estructural estático para tija inferior. ....	46

Fig. 4.26: Definición de material de estudio en la base de datos de Ansys Workbench. ....	47
Fig. 4.27: Selección de geometría de estudio de modelado 3D de la tija en la plataforma Ansys. ....	47
Fig. 4.28: Definición y refinamiento de mallas en Ansys (a) Malla generado por default y (b) Malla refinada a tamaño medio.....	48
Fig. 4.29: Malla final (a) selección de superficies para remallado superficial de caras y (b) Malla final resultante. ....	49
Fig. 4.30: Definición de esquemas de análisis e interrelaciones para modelo de tija inferior para múltiples condiciones en Ansys. ....	50
Fig. 4.31: Partes fundamentales de estudio para las condiciones en Ansys. ....	52
Fig. 4.32: Modelado de soportes y cargas para análisis de efectos de irregularidades en recta. ....	53
Fig.4.33: Análisis mecánicos resultantes para esfuerzos equivalentes y deformación de la tija inferior para irregularidades en recta.....	53
Fig. 4.34: Modelado de soportes y cargas para análisis de efectos durante el frenado. ....	54
Fig. 4.35: Valores nominales por componente de la fuerza remota aplicada.....	55
Fig.4.36: Análisis mecánicos resultantes para esfuerzos equivalentes y deformación de la tija inferior, durante la frenada. ....	55
Fig.4.37: Efectos del momento y la fuerza sobre las barras en el modelo. ....	56
Fig. 4.38: Modificaciones generales sobre modelado 3D final de la tija (a) remoción de taladrados principales y sección de apriete; (b) remoción de taladrados frontales; (c) remoción de cavidades de tornillos y (d) extensión de superficie de apoyo de eje central.	58
Fig. 4.39: Forma general de la tija inferior para el modelado de la matiz de forja. ....	59

Fig. 4.40: Superficie de apoyo de eje principal modificada (a) sin extensión y (b) extendida <i>l mm</i> .....	59
Fig. 4.41: Solapamiento de modelado 3D de la tija inferior con la base geométrica de la matriz.....	60
Fig. 4.42: Eliminación del modelado geométrico de la tija inferior.....	61
Fig. 4.43: Definición de la línea de partición de la matriz de forja para la tija inferior. ....	61
Fig. 4.44: Incremento de la medida geométrica respecto a la contracción del material.....	62
Fig. 4.45: Seccionado de matrices mediante el módulo de molde en Creo 2.0.....	63
Fig. 4.46: Matrices de forja (a) Superior y (b) Inferior .....	63
Fig. 4.47: Definición y selección del proceso de forja. ....	64
Fig. 4.48: Relaciones físicas del modelado 3D de la tija inferior.....	65
Fig. 4.49: Definición de contorno para material bruto respecto a la matriz.....	66
Fig. 4.50: Modelo de material en bruto 1. ....	67
Fig. 4.51: Incorporación de las matrices, en morado y verde, y la pieza de trabajo, color rosáceo.....	67
Fig. 4.52: Posicionado de la matriz y la pieza de trabajo (a) posicionado de pieza de trabajo y (b) posicionado de matriz superior. ....	69
Fig. 4.53: Definición de propiedades mecánicas del aluminio EN-AW 6082 T6.....	69
Fig. 4.54: Definición de requerimientos para el proceso de forja (a) selección de máquina; (b) definición de fricción y (c) temperaturas de procesamiento.....	70
Fig. 4.55: Árbol de procesamiento para simulado de forja en caliente de matrices para tija inferior. ....	71
Fig. 4.56: Puntos de cierre entre matriz inferior y superior para el modelado de la tija. ....	71

Fig. 4.57: Contacto de material y matriz en la primera simulación de forja en caliente. ....	72
Fig. 4.58: Incorporación de salientes para el llenado y modificado de la estructura base durante la forja.....	73
Fig. 4.59: Contacto de material y matriz en la segunda simulación de forja en caliente. ...	74
Fig. 4.60: Generación de contacto de frentes de flujos durante el proceso de forja en caliente.....	75
Fig. 4.61: Modelo de material en bruto 2. ....	75
Fig. 4.62: Análisis de frentes de flujos durante el proceso de forja en caliente (a) modelado inicial con bruto 1 y (b) modelado modificado con bruto 2. ....	76
Fig. 4.63: Contacto de material y matriz en la tercera simulación de forja en caliente.....	76
Fig. 4.64: Matriz de forja final para tija inferior (a) Matriz Inferior y (b) Matriz superior. 78	
Fig. 4.65: Condiciones de análisis para el enfriamiento ambiente de la pieza una vez forjada.....	79
Fig. 4.66: Base características para la definición de la matriz de corte (a) Modelo de forja simulado con presencia de rebabas y (b) proyección de contorno de la pieza respecto a la matriz. ....	80
Fig. 4.67: Matrices de corte de pieza forjada (a) matriz inferior de corte y (b) matriz superior de corte. ....	81
Fig. 4.68: Modelo base para punzones de presión.....	82
Fig. 4.69: Modelado de proceso de corte de rebabas (a) árbol de proceso para definición de condiciones de corte y (b) visualización de montaje de proceso de corte.....	83
Fig. 4.70: Superposición de modelo de referencia y pieza trabajada para modelado de matriz de forja superior.....	84

Fig. 4.71: Sección de mecanizado de tija inferior mediante fresa plana de diámetro <i>10 mm</i> . .....	85
Fig. 4.72: Condiciones de corte por diente para fresa plana de diámetro <i>10 mm</i> .....	86
Fig. 4.73: Velocidad de corte en m/min para el EN-AW 6082 T6.....	87
Fig. 4.74: Árbol de procesos de mecanizado para matriz de forja superior. ....	88
Fig. 4.75: Simulado de remoción de material en Vericut para matriz de forja superior, (a) remoción parcial desde la subfase 1 y (b) mecanizado superficial en subfase 2, operación 5. .....	91
Fig. 4.76: Árbol de procesos de mecanizado para matriz de forja superior. ....	92
Fig. 4.77: Árbol de procesos de mecanizado para matriz de forja superior .....	92
Fig. 4.78: Simulado de remoción de material en Vericut para matriz de corte superior, (a) remoción parcial desde la subfase 1 y (b) mecanizado superficial en subfase 2, operación 5. .....	95
Fig. 4.79: Árbol de procesos de mecanizado para matriz de forja superior .....	96
Fig. 4.80: Modelado parcial de base soporte para apoyo de sujeción de la tija inferior. ....	97
Fig. 4.81: Modelado parcial de base soporte con cavidades para apoyo de sujeción de la tija inferior. ....	97
Fig. 4.82: Modelado final de base soporte para apoyo de sujeción de la tija inferior. ....	98
Fig. 4.83: Montaje final de base soporte para sujeción y tija inferior. ....	98
Fig. 4.84: Árbol de procesos de mecanizado para tija inferior.....	99
Fig. 4.85: Simulado de remoción de material en Vericut de la tija inferior, (a) pieza sin mecanizar y (b) mecanizado superficial en subfase 2, operación 1.....	102

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Designaciones de tratamientos térmicos de aluminio .....	10
Tabla 3.2: Aplicaciones generales de granallas esféricas y angulares .....	12
Tabla 3.2: Aplicaciones generales de granallas esféricas y angulares ( <i>cont.</i> ).....	13
Tabla 4.1: Relaciones y requerimientos dimensionales basé para definición de la tija.....	31
Tabla 4.2: Consideraciones cuantitativas y cualitativas para platina de aluminio .....	35
Tabla 4.3: Hoja de ruta para fabricación de matriz de forja superior Sub-fase 1.....	89
Tabla 4.3 ( <i>cont.</i> ): Hoja de ruta para fabricación de matriz de forja superior Sub-fase 2. ...	90
Tabla 4.4: Hoja de ruta para fabricación de matriz de corte superior. ....	93
Tabla 4.4 ( <i>cont.</i> ): Hoja de ruta para fabricación de matriz de corte superior.....	94
Tabla 4.5: Hoja de ruta para mecanizado de tija inferior. ....	100
Tabla 4.5 ( <i>cont.</i> ): Hoja de ruta para mecanizado de tija inferior.....	101
Tabla 4.6: Tabla de costos de procesamiento para tija Inferior de sistema de suspensión. .....	104
Tabla A.1: Relación de costo del material por peso .....	110
Tabla A.2: Relación peso del bruto para cada matriz y pieza .....	110
Tabla A.3: Relación de costo del proceso por hora.....	110
Tabla A.4: Tiempos de procesamiento .....	111

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El diseño y la fabricación bien sea de componentes elaborados con metales, cerámicas, polímeros o compuestos constituye un trabajo complejo en el que se ven implicados un conjunto de factores que desde ciertas perspectivas se ven interrelacionados, pudiendo ser compatibles entre sí. El procesamiento de un producto incluye ciertos aspectos dentro del ciclo de vida en los que vienen incorporados los requisitos funcionales de la pieza y las características finales de la misma.

El diseñador constituye el primer contacto, basándose en aspectos de índole ingenieril logra evaluar cuantitativamente la valoración final de un diseño. A medida que transcurre el proceso de diseño, este se expone a una gran cantidad de factores, donde los criterios de selección de características y propiedades deben llevarse cuidadosamente, buscando alcanzar la mejor combinación que adapte las necesidades establecidas para la pieza. En este punto el diseñador aplica los conocimientos adquiridos para garantizar un cumplimiento adecuado de la funcionalidad precisada.

Respecto a la fabricación existen un gran número de métodos de transformación para conformar un material en una cierta forma con una funcionalidad deseada. Dependiendo de la conformación del mismo ciertos materiales requieren varios procesos o etapas para llevar a cabo la conformación total y funcional de la pieza, es por esto que la fase comprendida por la fabricación requiere de otra línea de operación humana que comprenda y lleve a cabo los aspectos correspondientes a la obtención final de esta.

Parte fundamental de ambos aspectos es la interconexión que debe de existir entre ellos, autores y programadores han interrelacionado el diseño y los procesos de fabricación, traduciéndolos en software utilizable en la práctica.

En principio la conjugación de ambos aspectos es llevada a cabo para generar un estándar que permita de una u otra manera definir un conjunto de conceptos y directrices técnicas. A partir de este punto esta relación funcional promueve una mayor seguridad, fiabilidad, productividad y eficiencia en las industrias, todo esto basado en los componentes o equipos de ingeniería.

Para llevar a cabo esto se han incorporado un gran número de software que facilitan la simulación y la representación esquemática del comportamiento, dimensionado y propiedades de una pieza, con esto se puede llevar un buen análisis de los requerimientos y necesidades a cumplir, creando de esta manera un esquema de estudio completo de un producto previo a su fabricación final, lo cual reduce en gran medida los errores y modificaciones requeridas durante los procesos antes mencionados.

Basados en estos aspectos la integración entre el diseño y la fabricación resulta necesaria para llevar a cabo el estudio y obtención de un producto enteramente funcional. En este sentido, el presente proyecto lleva a cabo la incorporación de ambos aspectos asociados a las herramientas computacionales que nos han sido provistas, facilitando el estudio de los requerimientos y necesidades de la pieza a realizar.

Lograr una mejora en las características y procesos de estudio ha implicado que las herramientas de ingeniería asistida por ordenador cubran todos los aspectos de la ingeniería de diseño para el análisis de la fabricación, reduciendo el tiempo y coste de desarrollo, simulándose y analizándose antes de la fabricación y compra de materiales. Es en este punto en el que el Diseño asistido por ordenador (CAD) y la Ingeniería asistida por ordenador (CAE) juegan un papel fundamental para el modelado físico y diseño del sistema, a partir de esto el uso de aplicaciones destinadas en la fabricación asistida por ordenador (CAM) para el control de la fabricación mediante máquinas de control numérico permite convertir un concepto de diseño en realidad.

Por último, queda establecido que la integración del diseño y la fabricación juega un papel importante en la actualidad, permitiendo una mejora en los análisis de comportamiento y propiedades, lo que ha llevado a una automatización y mejora de la planificación de proceso y por consiguiente a una optimización en la utilización de recursos, a un abaratamiento de costes y a un cumplimiento más ajustado de las especificaciones que aseguran la funcionalidad de las piezas.

## CAPÍTULO II

### OBJETIVOS

#### 2.1 Objetivo General.

- Emplear los distintos aspectos estudiados en el diseño y la fabricación integrada asistida por computador a fin de obtener una guía de análisis y modelado para la elaboración de una pieza.

#### 2.2 Objetivos Específicos.

- Realizar diseño 3D de la pieza mediante software CAD.
- Analizar mediante estudios CAE las propiedades mecánicas de la pieza y los modelados llevados en su procesamiento.
- Aplicar los criterios CAM para la obtención de la misma y la fabricación de los suplementos necesarios.

#### 2.3 Justificación

La aplicación e integración de los aspectos CAD, CAE y CAM nos ha permitido observar la manera en que se interrelacionan y las ventajas alcanzadas al trabajar con estos, permitiendo visualizar los entornos y comportamientos esperados durante la definición de un producto, así como también la determinación de los requerimientos y condiciones necesarias para su procesado.

Gracias a esto, el análisis de un modelo de estudio puede llevarse con mayor facilidad, permitiendo obtener una idea bastante completa de las necesidades y factores implicados en todo el entorno, comprendiendo desde el diseño hasta la fabricación. Teniendo en cuenta esto, el análisis a realizar durante el presente proyecto permitirá visualizar desde cero el desarrollo implicado en la elaboración de una tija inferior de un ciclomotor, abarcando cada una de las etapas de modelado.

La selección de esta pieza se centró en la búsqueda de un componente donde se pudieran aplicar los distintos análisis permitidos en el diseño y fabricación asistida por computadora; de igual manera, se buscó entender los criterios requeridos para su elaboración, partiendo de las distintas bases teóricas implicadas (desde las condiciones mecánicas a las que se expone hasta los materiales y procesos de fabricación necesarios), y así poder estudiar el simulado y desarrollo de la línea de fabricación para este modelo de pieza.

Por último, se podría establecer que, bien sea aplicando los criterios tomados en la elaboración y análisis empleados en nuestro caso de estudio, podamos adquirir un mejor entendimiento de la manera en la que se definen las condiciones más adecuadas o idóneas de un modelo, ya sea partiendo de un modelo desconocido y/o haciendo uso de distintos software de análisis CAD, CAE y CAM disponibles en el mercado.

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Antecedentes

Considerando los aspectos implicados en nuestro modelo de estudio, las bases comparativas de casos anteriores se pueden centrar en dos partes, una de esta asociada al diseño y la otra a la fabricación. La integración entre los análisis CAD/CAM/CAE nos permite compilar e interrelacionar los fundamentos buscados en estas investigaciones.

Respecto al diseño, proyectos como el presentado por Castroverde, titulado “*Diseño y cálculo de la columna de dirección para una motocicleta con suspensión delantera alternativa*”, analizaron el diseño de una columna de dirección adaptada a una motocicleta de competición con suspensión alternativa, incluyendo estudios de un modelo de tija inferior como la considerada en nuestro caso. En este analizaron ciertos fundamentos de la física de las motocicletas y la evolución de las suspensiones delanteras, buscando establecer ciertos requisitos y objetivos de diseño. De igual manera, realizaron cálculos estructurales para validar el diseño. Partiendo de esto se compararon las condiciones a las que se expone nuestro modelo, aproximando a condiciones reales.

Dentro de los aspectos de fabricación, publicaciones como la realizada por Jolgaf, Hamouda y asociados se han centrado en tecnologías de procesamiento de materiales enfocados en plantear los análisis necesarios para estudiar el desarrollo de sistemas CAD / CAM para el proceso de forja de matriz cerradas. Para esto han estructurado los análisis en varias etapas buscando analizar o simular el flujo de los materiales, los análisis de fallos presentes en las matrices y su optimización de diseño, como también estudian el desarrollo y la aplicación de códigos de mecanizados.

A fin de visualizar el enfoque a emplear durante nuestro proyecto, estos antecedentes nos aproximan a las bases necesarias para su desarrollo. Cabe destacar que existen muchos más estudios acordes a estos, los cuales han sido empleados como base teórica del proyecto.

### **3.2 Tecnologías de fabricación.**

La realización de una pieza, en general, implica un número de requerimientos durante su diseño y fabricación que conllevan a la aplicación de distintos procesos para obtener un producto totalmente funcional. Dependiendo de las características operativas, la aplicación o uso de ciertas tecnologías de fabricación permiten obtener un producto con los requerimientos necesarios.

Muchos de los aspectos considerados al obtener o diseñar una pieza se centran en las características dimensionales y su funcionalidad, esto sin tomar en cuenta los efectos que generan los diferentes procesos de fabricación aplicados o seleccionados para su confección, como por ejemplo la generación de esfuerzos residuales durante la fabricación, la formación de defectos internos o externos en zonas con geometrías intrincadas, entre otros. Considerar esto pudiera conllevar a generar un plan de trabajo distinto, facilitando y garantizando una producción más óptima y fiable para la pieza en estudio.

Para poder entender los requerimientos aplicados durante el análisis y modelado de nuestra pieza de estudio, a continuación se presentan los fundamentos teóricos tomados en cuenta para su elaboración, centrada en los resultados y selecciones obtenidos en el marco metodológico y análisis de resultados realizados en secciones posteriores. Cada uno de estos parte desde factores como el material escogido (Aluminio aleado 6082 T6), los requerimientos mecánicos necesarios (alta resistencia, durabilidad, etc.), las condiciones de procesamiento de la pieza (espesores mínimos y máximos, forma de la pieza, tolerancias, etc), los mecanizados, los tratamientos superficiales, entre otros.

#### **3.2.1 Forja**

Consiste en la deformación plástica de una pieza metálica aplicando sobre ésta fuertes concentraciones de esfuerzos superficiales mediante golpes o aplicación de esfuerzos continuos hasta que adquiere la forma deseada. La forja cubre una muy amplia gama de procesos, desde frío a caliente, producción en masa de piezas o unitaria, desde formas muy complejas, variando de pequeñas a grandes cantidades en peso, pasando desde materiales como el hierro hasta aleaciones no ferrosas.

En general, la complejidad alcanzada depende de la configuración o trayectoria de deformación necesaria para llevar a cabo la transformación. Este proceso requiere el diseño

de varias operaciones con el fin de producir piezas con altas propiedades mecánicas dentro de los límites mecánicos y las consideraciones económicas.

### 3.2.1.1 Forja por estampación

En la forja por estampación el proceso puede aplicarse ya sea en caliente o en frío, si la temperatura del material a deformar es mayor a la temperatura de recristalización, se considera estampación en caliente, y si se encuentra por debajo de esta se denomina estampación en frío. La estampación en frío se suele realizar fundamentalmente sobre chapas. Uno de los trabajos de estampación más conocidos es el realizado para obtener las distintas piezas de la carrocería de un automóvil, o el proceso de estampado de las caras de las monedas.

Para la forja por estampación en caliente suele aplicarse a piezas metálicas con grandes espesores, viéndose sometidos a esfuerzos violentos de compresión, de forma repetitiva o aplicada de manera continua. En este proceso el tocho del material de partida se sitúa en la matriz con la forma de la pieza que se desea obtener. La parte superior que cierra la matriz golpea, ver Fig. 3.1, bien sea de manera manual o automáticamente (neumática, hidráulica, mecánica).

Una vez aplicados los esfuerzos necesarios se produce la deformación permanente de la pieza que va ocupando todo el hueco de la matriz. Ciertas consideraciones se suelen aplicar, como es el uso de secciones extras en la pieza denominadas flash, rebaba (aspecto que se considerará y definirá más adelante en el diseño).

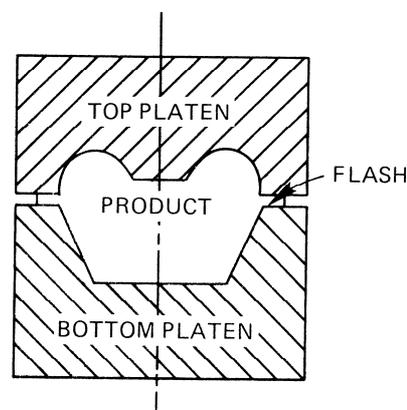


Fig. 3.1: Matrices y material en la forja por estampado.

Al extraer la pieza de la matriz, en general el grado de acabado no es satisfactorio y la pieza suele presentar rebabas que se tienen que recortar, también suele ser necesario someter a las piezas a procesos posteriores de acabado.

Para llevar a cabo la deformación del material suelen emplearse distintos sistemas, en principio y dadas las características de la pieza suelen usarse bien sean prensas hidráulicas o mecánicas, Fig 3.2. La diferencia general entre ambos sistemas vendrá implicada en los criterios tomados para el diseño final de la pieza.

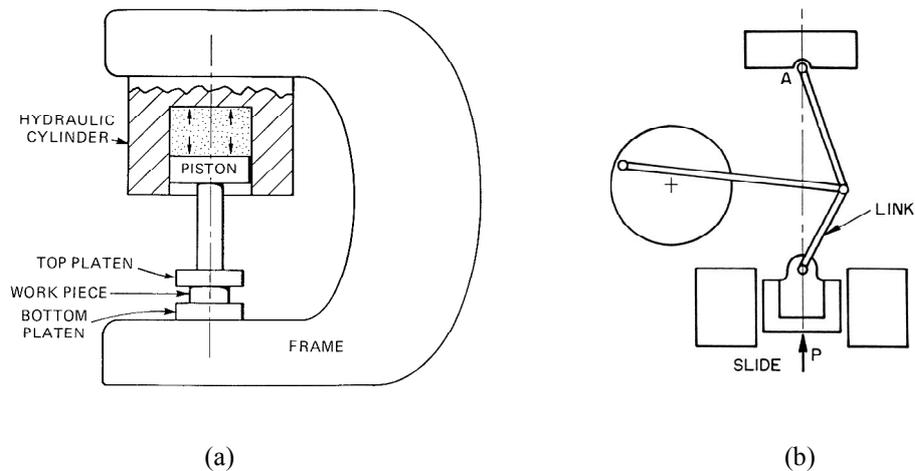


Fig. 3.2: Prensas para forja por estampado: (a) Prensa hidráulica y (b) Prensa Mecánica.

El uso de una prensa hidráulica implica un proceso más lento que el que proporciona una prensa mecánica o de martillo, siendo este último adecuado para la producción en masa dado a que el tiempo de contacto de la herramienta y la pieza de trabajo es más corto, trayendo consigo una mayor protección de la matriz durante la forja en caliente.

Por otra parte, en el uso de prensas grandes con el sistema hidráulico se logra un mejor transporte de cargas, siendo adecuado para piezas de mayor carrera. Por esto se recomiendan las prensas mecánicas para forjado con troquel abierto o forja libre y forja cerrada con la incorporación de flash, mientras que se recomienda una prensa hidráulica para forja cerrada sin flash, Fig. 3.3.

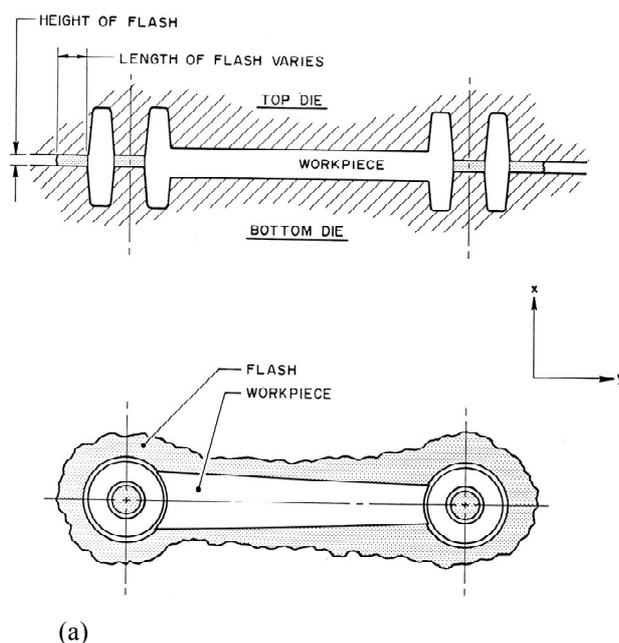


Fig. 3.3: Forja por estampado: (a) Sin flash y (b) Con flash.

La cavidad entre las matrices superior e inferior dicta la forma del componente. La forma original de la pieza en bruto puede ser una longitud predeterminada de una varilla con un cuadrado o redondo como sección transversal. También es muy común que el diseño de la matriz conste de varias cavidades para la producción de varios componentes. Dependiendo de la conformación final de la pieza se suelen aplicar varios pasos denominados “*pasos en blanco*” (traducción del inglés *blank passes*) con los que se genera paulatinamente una deformación gradual a la forma final deseada con los valores nominales del producto.

Dentro de las maquinarias empleadas en estos sistemas se pueden distinguir los martillos de doble efecto, prensas (verticales, excéntricas, hidráulicas, a fricción), martinets, balancines, laminadoras, rebanadoras, acuñadoras, matrices, hornos para calentamiento y para el posterior tratamiento térmico de las piezas forjadas.

Para poder realizar las altas deformaciones de la pieza el material a trabajar debe encontrarse en su totalidad en caliente (el cociente entre la Temperatura de trabajo y la Temperatura de fusión debe ser mayor a 0,6), por lo cual muchas veces la superficie de la pieza sufre oxidación. Además, si el centro de la pieza no está caliente, se produce la rotura de la misma.

### 3.2.2 Tratamientos térmicos

El tratamiento térmico se refiere al calentamiento y enfriamiento de los metales en estado sólido, a fin de lograr la modificación de sus propiedades mecánicas, su estructura metalográfica o eliminar tensiones residuales. Al aplicarse en aleaciones de aluminio, el tratamiento térmico permite incrementar la resistencia y la dureza de las aleaciones de forja o de moldeo.

Por ejemplo, existen distintos procesos de tratamiento térmico aplicados a un material como el aluminio, algunos de estos se presentan en la tabla 3.1 mostrada a continuación.

Tabla 3.1: Designaciones de tratamientos térmicos de aluminio

<b>Designación de tratamientos térmicos</b>	
F	En estado bruto.
O	Temple, recristalización (sólo para los productos forjados).
H	Endurecimiento por deformación (sólo para los productos forjados).
T	Tratado térmicamente para producir temple estable.
T1	Enfriamiento desde una temperatura elevada, provocando un proceso de envejecimiento.
T2	Temple (sólo productos de fundición).
T3	Tratamiento de puesta en solución, trabajo en frío.
T4	Tratamiento de puesta en solución, envejecimiento natural.
T5	Enfriamiento desde una temperatura elevada en el proceso de conformado y envejecimiento artificial (tratamiento térmico de precipitación).
T6	Puesta en solución, envejecimiento artificial.
T7	Puesta en solución, estabilización.
T8	Puesta en solución, trabajo en frío, envejecimiento artificial.
T9	Puesta en solución, envejecimiento artificial, trabajo en frío.
T10	Enfriamiento desde una temperatura elevada, envejecimiento artificial, trabajo en frío.

Teniendo en cuenta que nuestro material seleccionado fue el Aluminio Aleado 6062 T6, a continuación se definen los aspectos teóricos asociados a este tipo de proceso, a fin de dar a conocer las nociones implicadas para estos.

### 3.2.2.1 Tratamiento térmico T6

Las aleaciones de aluminio han adquirido una importancia práctica considerable, dado a las mejoras continuas en sus características físicas y mecánicas, y a su aptitud para la conformación, forja en caliente o en frío. El tratamiento T6 se utiliza generalmente para incrementar el límite elástico y la resistencia a tracción, adicionalmente este proceso permite incrementar la dureza lo que mejora el mecanizado.

Este tipo de tratamiento conlleva tres etapas. La primera de estas etapas consiste en la puesta en solución sólida, lo que desempeña varias funciones, modificando consigo la estructura y composición de la aleación, bien sea cambiando y disolviendo ciertas estructuras, homogenizando la solución sólida y su fragmentación. Dependiendo de parámetros tales como la temperatura de puesta en solución, se ve alterado el tamaño/forma de la partícula original que variará las condiciones de solidificación, tamaño de grano y de cambio de la estructura principal.

Los procesos llevados a cabo en este tipo de tratamiento térmico se muestran a continuación:

- Puesta en solución sólida 520-530 °C durante 2-8 horas
- Enfriamiento en agua a 20-80 °C
- Envejecimiento artificial 150-180 °C durante 2-8 horas

### 3.2.3 Granallado

El proceso de granallado de superficies consiste en la utilización de materiales abrasivos de limpieza mediante un chorro de arena. El uso de este proceso facilita la limpieza de piezas después de la fundición, el decapado mecánico de metales, la retirada de rebabas de piezas metálicas, plásticos y gomas, como también el empañado de superficies plásticas, vidrios, metales, cerámicas. Dependiendo de la composición del grano se puede emplear como proceso de "Shot peening" de metales.

Las características y usos del granallado varían respecto del tamaño de grano, como se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Aplicaciones generales de granallas esféricas y angulares

ESFERICAS		ANGULARES		Aplicaciones generales
Tamaño (SAE)	Rugosidad	Tamaño	Rugosidad	
S-660	Rugosidad muy alta a alta	G-12	Rugosidad muy alta	1-Remoción de escamas espesa o tenaz. 2- Limpieza de fundidos de acero o hierro, de grandes dimensiones.
S-550	Rugosidad alta a mediana	G-14	Rugosidad Alta	1- Limpieza de fundidos medianos de acero.
S-460		G-16		2- Remoción de camadas espesas de tinta u óxido.
S-390		G-18		3- Limpieza de fundidos espesos de hierro gris, nodular.
				4- Granallado de cilindro laminador.
S-330	Rugosidad	G-25	Rugosidad Baja	1- Limpieza de fundidos livianos de acero.
S-280	Mediana a			2- Limpieza de fundidos medianos de hierro gris, maleable y nodular, y de no ferrosos.
S-230	baja			3- Remoción de escama de piezas tratadas térmicamente, forjados medianos, chapas gruesas, finas y estructurales.
S-170	Rugosidad baja a muy baja	G-40	Rugosidad Baja	1 - Limpieza de fundidos livianos de acero.
S-110		G-50		2- Remoción de escama de barras, bobinas, forjadas livianas, piezas tratadas térmicamente, tubos, chapas finas, tiras e inoxidable.
		G-80		3- Remoción de tinta y óxido liviano.

Tabla 3.2: Aplicaciones generales de granallas esféricas y angulares (*cont.*)

ESFERICAS		ANGULARES		Aplicaciones generales
Tamaño (SAE)	Rugosidad	Tamaño	Rugosidad	
-	-	G-120	Rugosidad Muy Baja	1 - Limpieza de piezas fundidas ferrosas y no ferrosas muy pequeñas. 2- Remoción de capas finas de tinta, óxido y escama. 3- Limpieza de piezas fundidas en coquilla o pequeñas piezas maquinadas. 4- Limpieza y preparación de moldes para vidrio y para fundición en coquilla.

### 3.2.4 Mecanizado a 5 ejes posicionados

El mecanizado es el proceso de fabricación en el que se emplean procesos de corte y deformación. Durante el proceso de mecanizado una herramienta elimina las partículas de una parte para generar una superficie o forma compleja que mediante otros procesos de conformado resulta difícil o no podría ser obtenida. En este proceso la herramienta de corte se mueve a través de la pieza de trabajo en una trayectoria controlada de manera cinética mediante un código de programación. En consecuencia, la forma de la pieza de trabajo es predominantemente independiente del perfil de la herramienta. Las fuerzas y temperaturas durante los procesos de corte son menores comparándolo a los procesos de fundición o de formando.

El mecanizado multieje comprende un mayor número de grados de libertad controlados mediante programación CNC. Se producen piezas mediante el arranque de material. La complejidad del mecanizado se logra mediante el empleo de herramientas características al proceso (fresado, torneado, etc.) junto al desplazamiento de las mismas según los tres ejes principales de la máquina “x”, “y” y “z”, incorporando, dependiendo del tipo de máquina, la rotación alrededor de uno o más ejes.

La programación de estas máquinas implica el uso de sistemas software CAM para programación multieje, para esto la pieza inicialmente se modela en el software y luego se definen bien sea de manera manual o automática las condiciones que permitan definir las

compensaciones y/o requerimientos a tomar en cuenta para generar los recorridos a realizar por el sistema de mecanizado durante la fabricación.



Fig. 3.4: Modelo de máquina CNC de 5 ejes.

Sistemas de este tipo permite un número de ejes que varía de 4 a 6. El control de cada eje de movimiento puede realizarse a través de movimientos del soporte de la pieza, como a través del movimiento de la herramienta, depende de la configuración implementada en la máquina.

En la figura 3.4 puede verse un modelo de máquina CNC de 5 ejes donde se muestra la disponibilidad de movilidad del cabezal fuera de los tres ejes principales de estos sistemas.

La facilidad comprendida en este tipo de sistema viene implicada en la disminución de montajes de las piezas a mecanizar, ya que se ven minimizados los movimientos de girado o recolocado manual durante el mecanizado. Mediante este sistema de mecanizado se pueden mejorar el acabado superficial de la pieza realizada debido a la facilidad de movimientos tangenciales de la herramienta, como realizar piezas complejas con superficies o cavidades intrincadas.

### **3.3 Desarrollo ingenieril asistido por ordenador.**

En la actualidad el continuo avance de las necesidades y requerimientos de las piezas tanto en el diseño como en la fabricación ha requerido la creación de distintos programas

para facilitar el trabajo. En líneas generales asociar la funcionalidad de los sistemas automatizados para cálculos y comportamientos que permite el uso de ordenadores ha minimizado los problemas que implican llevar a cabo un proyecto en la industria, garantizándose una mejor eficiencia y un mejor resultado de los requerimientos a los cuales debe someterse la completa obtención de un producto plenamente funcional y dentro de los parámetros que deben cumplir.

Es por esto que la integración de funciones de diseño, ingeniería y fabricación en conjunto con los ordenadores ha permitido crear una línea de estudio más compleja y de mayor eficiencia a la hora de garantizar a un cliente la plena funcionalidad, reduciendo los errores asociados a los modelos de análisis anteriores. Básicamente la composición y desarrollo de una pieza se lleva en tres aspectos fundamentales como es el diseño, la ingeniería y la fabricación asistida por ordenador (CAD, CAE y CAM respectivamente), con esto se ha permitido alcanzar un mejor avance en el análisis y los estudios de una pieza, es por esto que el entendimiento de análisis de los distintos software empleados y su funcionalidad implican una mejor comprensión de las facilidades que estos proporcionan.

### **3.3.1 Software de diseño**

Los avances en la tecnología informática como de los hardware han aumentado la capacidad de memoria permitiendo el procesamiento paralelo y distribuido, mayor flexibilidad en la estructuración de datos y diseño de software. Los sistemas basados en el conocimiento y los conceptos de programación orientada a objetos y mejoras en el diseño han permitido una mejora en la interfaz de usuario en los sistemas CAD. Ahora es posible hacer frente a los aspectos comunes de la integración de una manera racional y sistemática.

La integración en sistemas CAD para aplicaciones de ingeniería estructural resulta eficaz y plenamente funcional. En otras palabras, estos buscan abordar los aspectos funcionales del sistema CAD basándose en una comprensión de los requisitos de la estructura ingenieril. El sistema CAD debe resultar aplicable a todas las etapas del proceso de diseño y proferir varios beneficios, dentro de estos se pueden definir:

- Facilidad para la entrada de datos y mejoras en la visualización gráfica.
- Reducción en el potencial de errores.
- Mayor funcionalidad global.

- Mejorar la coordinación.
- Mayor integridad de datos.
- Disponibilidad de los datos generados en una etapa para su reutilización en otra etapa.
- Mejora de la eficiencia en términos de tiempo y costo.
- Mejora de la comunicación entre los miembros del equipo de diseño.

Todos estos aspectos deben integrarse abordando los distintos aspectos ingenieriles como son:

- Integración de la redacción de 2-D y 3-D durante la modelización.
- Integración de la información sobre el diseño gráfico y no gráfico.
- Integración de la estructura de datos y la interfaz de usuario.

La integración de los sistemas CAD tiene que centrarse en los aspectos funcionales de estos sistemas, con el fin de dar lugar a sistemas que ayuden eficazmente durante el desarrollo del diseño. El enfoque estructurado de las necesidades de integración permitiría reemplazar los estudios con un enfoque más estratégico.

Algunas de las facetas de integración que deben ser abordados en sistemas CAD para las distintas aplicaciones deben incluir mejor intercambio de datos entre modelos, así como mejorar la estructura de datos CAD y la interfaz de usuario. Para enfoques adoptados en el desarrollo de prototipos se podría basar en una estructura de datos CAD integrando la parte visible y la manipulable por el diseñador. En principio todos estos aspectos demuestran su eficacia, proporcionando mayor flexibilidad en respuesta a las necesidades a los que los sistemas CAD de diseño están orientadas.

Como se puede observar en la Fig. 3.5 estas plataformas CAD permiten modelar complejos sistemas de diseño, facilitando la visualización de las partes que componen a un entorno complejo, detallando de esta manera los aspectos geométricos, de ensamblaje e incluso de movilidad de los montajes.

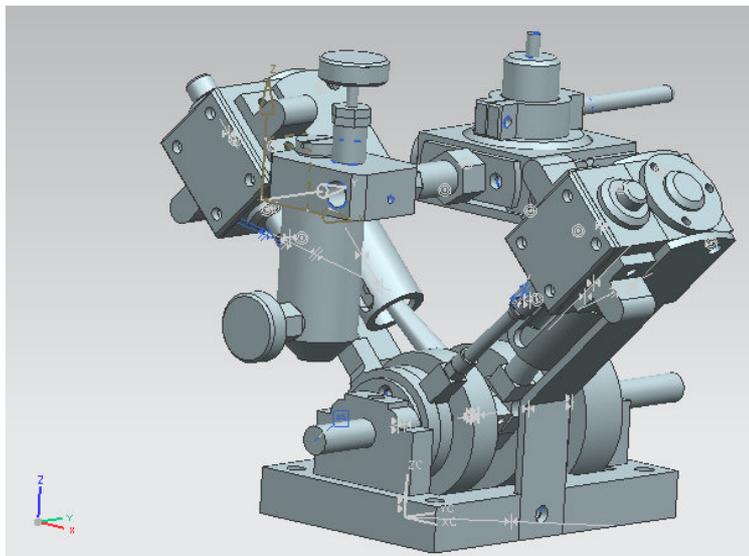


Fig. 3.5: Modelado 3D de motor a vapor en software de diseño asistido por ordenador.

### 3.3.1.1 Software Creo 2.0

Creo 2.0 conforma una plataforma de diseño y manufactura bastante completa. Dado a su manejable entorno de operaciones, permite un mejor intercambio de datos y revisiones de diseño, gracias a esto, facilita la creación modelos de alta fidelidad, bien definidos y estructurados, permitiéndonos optimizar los procesos de desarrollo y análisis desde el punto de vista del modelado CAD.

Dentro de las características permitidas en esta plataforma tenemos el modelado 3D sólidos, superficies, análisis de tolerancia, generación de códigos NC, diseño de herramientas, etc., todo esto nos permite duplicar la productividad en el diseño, reduciendo los tiempos implicados en el desarrollo de una pieza. A continuación en la Fig. 3.6 se presenta la presentación del software.



Fig. 3.6: Plataforma de Creo Parametric 2.0.

### **3.3.2 Software de ingeniería**

Para predecir distintos modelos analíticos en cuanto al flujo y a las propiedades de los procesos mecánicos y físicos se han realizado largos periodos de ensayo y error para lograr aproximaciones a las condiciones que los caracterizan. Implicando de igual manera la simulación de modelos materiales. Esta necesidad ha implicado un amplio estudio de los análisis generales en la ingeniería de una pieza, desde el estudio completo de su funcionalidad hasta la conducta que debe de mostrar una vez se encuentra sometidas a procesamiento, ya que los materiales se ven afectados bajo ciertas condiciones.

Obtener una mayor comprensión de estos efectos producidos, nos facilita o permite de manera más rápida definir los requerimientos de procesamiento y las condiciones a las que debe someterse un proceso en situaciones reales.

La incorporación de sistemas de análisis por simulación numérica para llevar a cabo el estudio de la complejidad de la deformación plástica según distintos procesos mecánicos, ha mejorado en buena medida, cumpliendo con la necesidad general de reducir el tiempo de diseño y los costos asociados, a la vez que se aumenta la calidad de las piezas y la fiabilidad de la secuencia de procesamiento empleada. Para esto se emplean distintos software que cubren desde el estudio de la funcionalidad de la pieza diseñada hasta los procesos a los cuales se ven sometidos.

Dentro de algunas de las plataformas software empleadas en la forja y en los análisis mecánicos, tenemos los presentados a continuación.

#### **3.3.2.1 Software Ansys Workbench**

ANSYS Workbench constituye un software en el cual se apoya una amplia gama de la industria basada en la tecnología de simulación de ingeniería. En él se emplea un sistema innovado del manejo y punto de vista esquemático de un proyecto en donde se une todo el proceso de simulación, guiando al usuario en cada paso del camino e interrelacionando los distintos aspectos de estudio. Su facilidad de manejo viene asociada a una plataforma donde se puede realizar análisis multifísicos complejos.

Debido a la conectividad bidireccional CAD, ANSYS emplea un mecanismo automático de actualización de proyectos, gestión de parámetros inter relacionados incorporando herramientas de optimización.

Las aplicaciones del entorno de ANSYS se apoyan en variaciones paramétricas, incluyendo las dimensiones de la geometría CAD, propiedades de los materiales, condiciones de contorno, entre otros aspectos. En principio los parámetros definidos dentro de las aplicaciones pueden ser controlados directamente desde la ventana del proyecto, por lo que es fácil de investigar las múltiples variaciones de un análisis.

Para aprovechar al máximo el poder de análisis paramétrico ANSYS Workbench impulsa el diseño de experimentos, la optimización por objetivos, integra nuevos sistemas de análisis para investigar la robustez del diseño. Toda esta potencia está dispuesta en las aplicaciones, en los modelos físicos que se pueden manejar y los solucionadores disponibles en la plataforma.

A fin de visualizar la plataforma de Workbench ANSYS empleada para los análisis aplicados durante el proceso de modelado mecánico, a continuación en la Fig 3.7 se muestra la presentación del software.

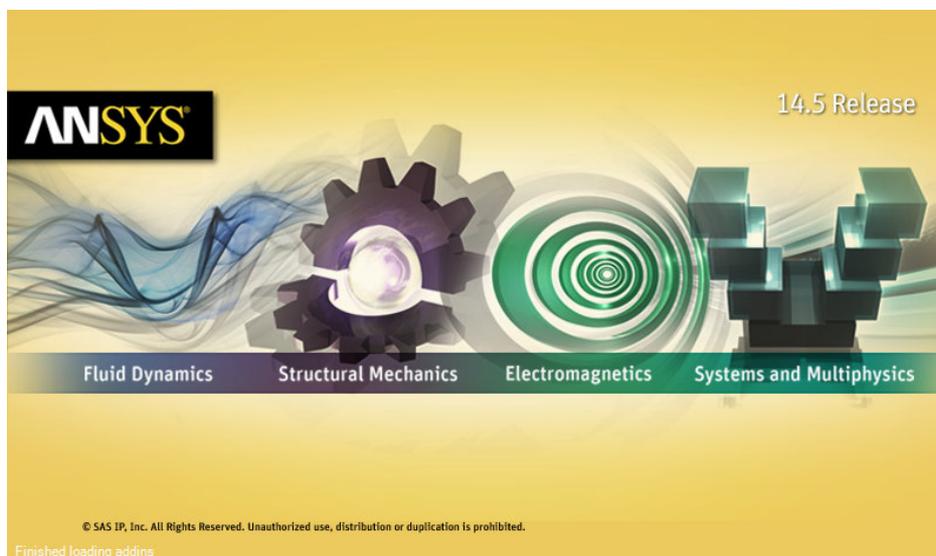


Fig. 3.7: Plataforma de ANSYS WORKBENCH 14.5.

### 3.3.2.2 Simufact forming 10

“Simufact forming” es una herramienta de simulación desarrollada especialmente para la industria de conformación. Creada a partir de dos plataformas centradas en el estudio del

comportamiento de los procesos de conformación, MSC.SuperForm y MSC.SuperForge, ambas se integraron en un solo producto. Simufact forming se ha desarrollado para apoyar en todas las aplicaciones que dan forma, independientemente de la temperatura del proceso, la máquina utilizada o el material procesado:

- Forja cerrada o extrusión.
- Doblado o forja libre.
- Laminados planos, de perfil ondulado o volteo – frío, caliente o semi-caliente.
- Prensa, martillo o prensa de tornillo mecánico.
- Máquina de laminación o forja orbital.
- Acero de baja aleación sencilla o de acero, de aluminio o de metal no ferroso, titanio o aleaciones a base de níquel, masiva o láminas.
- Análisis de flujo de materiales o “*dieload*”.

Dado a estas facilidades de trabajo y de manejo de la plataforma Simufact forming, puede decirse que esta constituye un entorno de simulación integrado adecuado para los análisis implicados en los procesos de conformación. Como se puede observar en la figura 3.9 Simufact nos permite ver las distintas etapas comprendidas en el estudio de una pieza, exhibiendo en detalle los distintos aspectos implicados durante la definición de las condiciones de trabajo y los resultados a esperar.

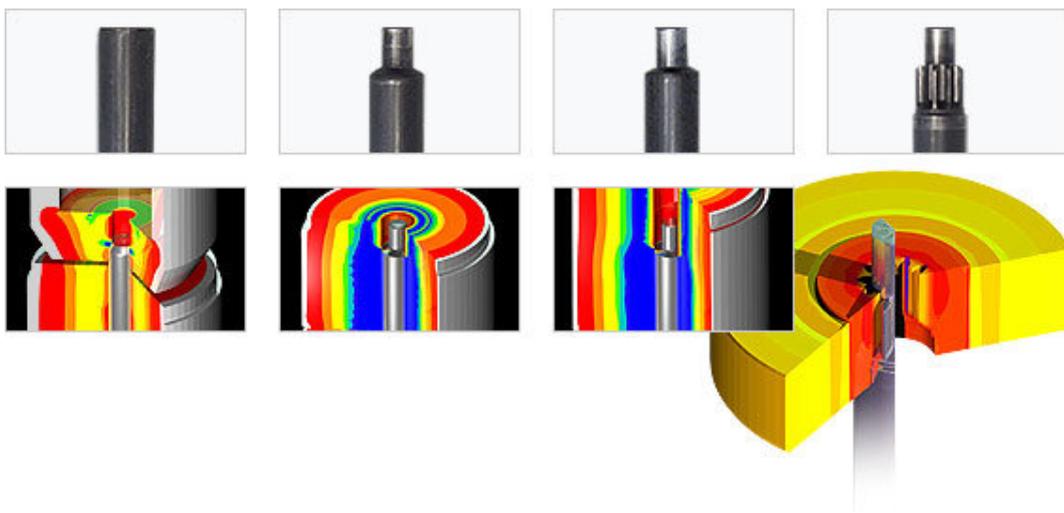


Fig. 3.8: Plataforma de Simufact forming 10.

### **3.3.3 Software para mecanizado.**

Existen un gran número de sistemas adecuados para el simulado del entorno de fabricación (CAM). Las plataformas de análisis CAM garantizan la correcta aplicación de las partes fundamentales llevadas a cabo en el desarrollo de la fabricación.

Dependiendo de los requerimientos generales de la pieza, mediante estos software se pueden definir las condiciones necesarias de procesamiento, obtención un modelo adecuado a las necesidades buscadas y a las condiciones deseadas por el operador. La facilidad que confieren estos sistemas se centra en dos aspectos: la programación de la secuencia de elaboración a seguir y la obtención de los códigos de programación para su procesamiento.

El entendimiento y facilidad de uso que permiten estas plataformas garantizan una reducción de tiempos de estudio y una maximización de la eficiencia durante la fabricación de los componentes que conforman la totalidad de un producto. Con este tipo de herramientas se crea un entorno ideal de procesamiento y una adecuada programación de los sistemas. La facilidad de manejo de estos sistemas programables permite una mejor integración de distintos aspectos de trabajo.

#### **3.3.3.1 Plataforma de mecanizado en Creo 2.0.**

Como se planteó anteriormente, esta plataforma también nos permite realizar los análisis de manufactura, pudiendo manejar el entorno de procesamiento requerido en el mecanizado de las piezas necesarias. Para esto, Creo 2.0 integra los distintos parámetros necesarios durante la fabricación (herramientas, sujeciones, condiciones de corte, etc.).

Esta plataforma, dentro de su módulo de mecanizado, permite generar un perfil del proceso de fabricación requerido, incorporando un amplio ajuste de las características reales que se representan, pudiendo visualizar las necesidades y parámetros implicados tanto en el pre-procesado como el post-procesado.

Como se puede observar en la Fig 3.9 tenemos el entorno general empleado en el módulo de mecanizado provisto en Creo 2.0, permitiéndonos visualizar un poco las distintas funciones que nos permite desarrollar esta plataforma una vez se desee llevar a cabo el análisis CAM de la pieza de estudio.

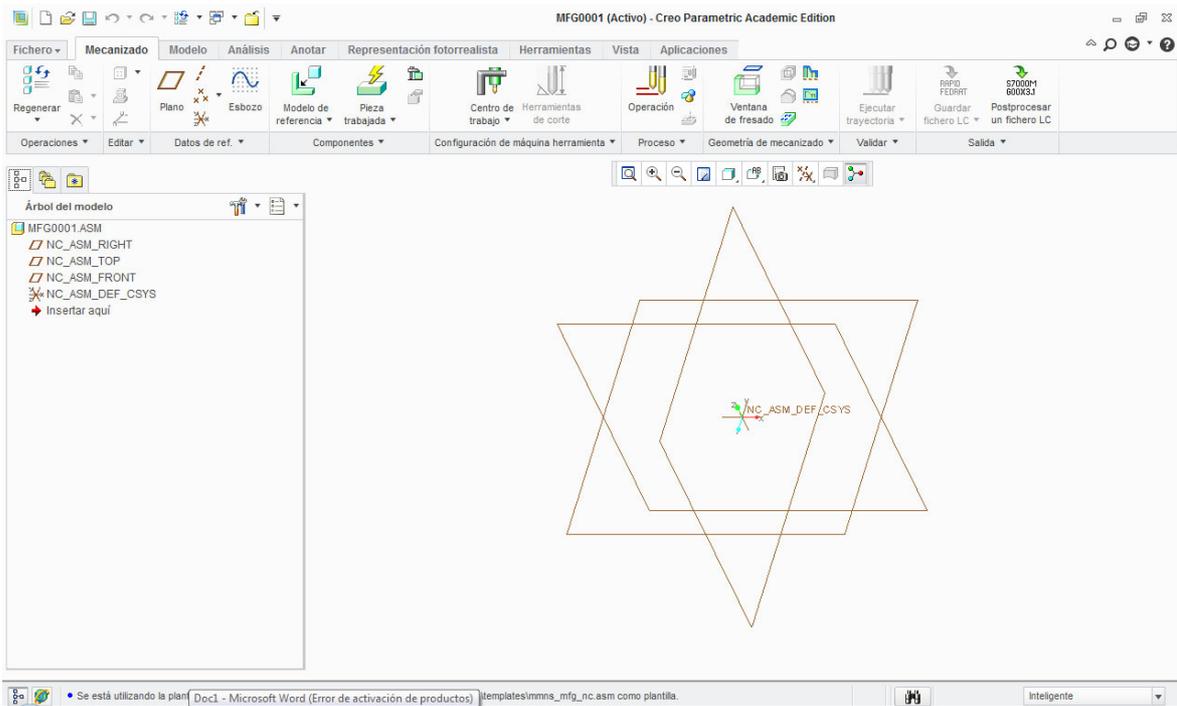


Fig. 3.9: Plataforma Creo 2.0 Parametric para modelado de mecanizado.

## CAPÍTULO IV

### METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Objeto de estudio.

Para incorporar un referente de estudio de la línea de análisis de una pieza mecánica y las características y funcionalidades que deben cumplirse, se modelaron los procesos de forja y de mecanizado en 5 ejes para la puesta en servicio de un producto plenamente funcional, incorporando los aspectos de diseño, análisis ingenieril y fabricación implicados.

A fin de generar una guía en la que se expongan distintas condiciones, y puedan ser aplicados los distintos fundamentos del diseño y la fabricación integrada asistida por computador, se evaluaron las características generales de una pieza obtenida por forja, analizando sus requerimientos mecánicos, condiciones de procesamiento y las necesidades de fabricación.

Para llevar a cabo el diseño y fabricación de la pieza se seleccionó como objeto de análisis la tija inferior de un ciclo motor. En la conformación completa de la pieza se tuvieron en cuenta las distintas características mecánicas implicadas en ésta, así como también los requerimientos funcionales a los que se ve expuesta. La función principal de esta pieza constituye la unión de las barras de suspensión por debajo de la tija de suspensión de una moto, asegurando su paralelismo frente a los esfuerzos derivados del funcionamiento del tren delantero de la moto.

A continuación, en la Fig 4.1, se muestran algunos modelos de tija inferior empleados en distintos modelos. La diferencia general de estas piezas se ajusta a los requerimientos dimensionales y geométricos correspondientes al diseño general de la moto, sin embargo la funcionalidad que abarcan comprende la misma necesidad general.

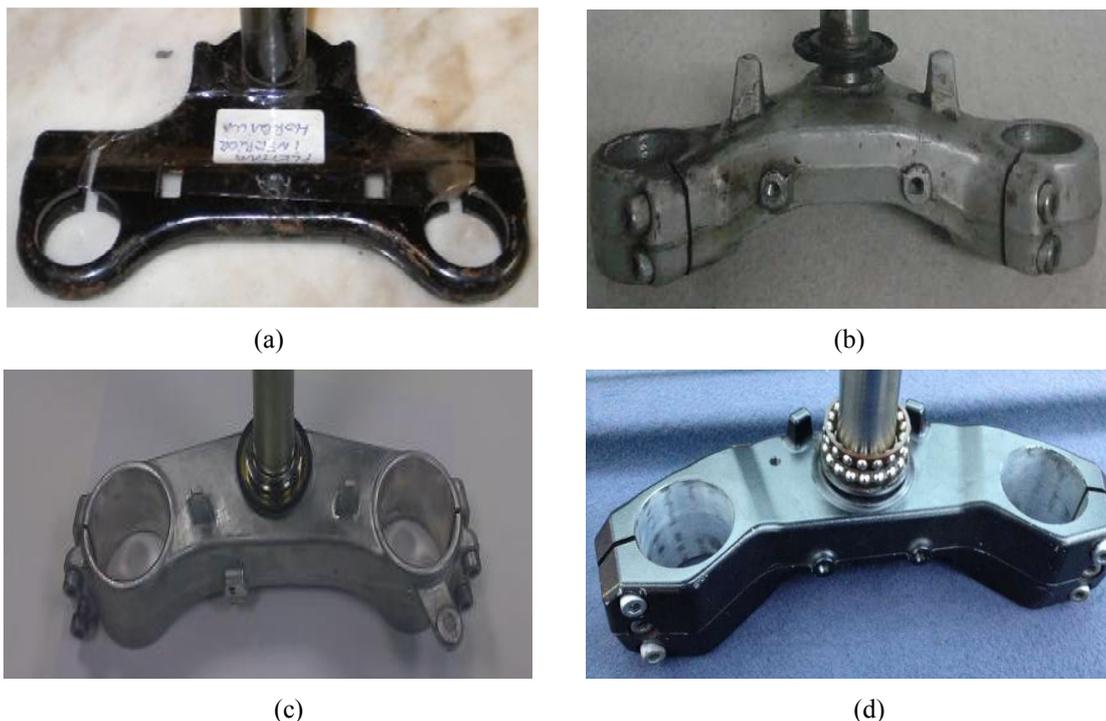


Fig. 4.1: Modelos de tija inferior (a) modelo genérico, (b) Aprilia RS50, (c) SUZUKI GSXR 1000 K7 K8 y (d) KAWA Z1000 08.

Teniendo en consideración las características generales y funcionales de esta pieza los siguientes requerimientos salen a relucir:

- Alto módulo de Young's.
- Bajo peso.
- Alta resistencia a esfuerzos cíclicos (vibraciones).

Para llevar a cabo el estudio se escogió el modelo mostrado en la figura 4.1 (b), siendo esta la pieza inferior de un conjunto de suspensión delantera de un ciclo motor Aprilia RS50.

#### 4.1.1 Requerimientos funcionales.

Para poder comprender el planteamiento de partida de la suspensión delantera, es importante considerar las sollicitaciones mecánicas a las que se encuentra sometida. Los mayores efectos generados sobre ésta se muestran a continuación.

##### 4.1.1.1 Irregularidades en recta

Cuando una motocicleta se encuentra con un bache, se produce un esfuerzo local en el punto de contacto entre el bache y el neumático. Este esfuerzo siempre irá dirigido hacia el

centro de la rueda, por lo que la dirección de la fuerza dependerá de la altura del bache y del diámetro de la rueda. Es comprensible, por tanto, que esta fuerza no siempre estará alineada con la dirección de compresión de la suspensión, Fig 4.2, y por tanto habrá una componente de la primera que será absorbida por el chasis haciendo efecto sobre la base que soporta al sistema de suspensión.

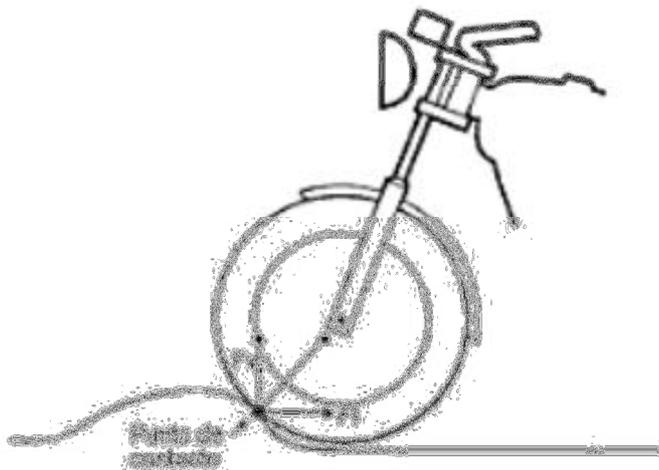


Fig. 4.2: Generación de fuerzas en presencia de irregularidades en recta.

#### 4.1.1.2 Frenada

Para frenar un cuerpo en movimiento, es necesario realizar sobre él una fuerza en la misma dirección y sentido opuesto a la velocidad. En el caso de una motocicleta, esto supone realizar una fuerza dirigida hacia la parte trasera de la moto. Debido a que el único punto de contacto con el suelo está en las ruedas, esta fuerza tiene su punto de aplicación en la huella del neumático.

Para comprobar el efecto que estas fuerzas de frenado tienen sobre la suspensión delantera, es preciso trasladarlas al anclaje de la misma. Al hacerlo, se puede comprobar que ésta se transforma en una fuerza horizontal y un momento en sentido horario. Tal y como ocurre en el caso de una irregularidad en el pavimento, la fuerza resultante, en la mayoría de casos de la frenada, no estará alineada con la dirección de funcionamiento de la suspensión, por tanto las demás componentes (incluido el momento resultante) serán asimiladas por el chasis.

### 4.1.1.3 Irregularidades en curva

La absorción de las irregularidades del pavimento durante la circulación en curva es uno de los aspectos más complejos de la dinámica de una motocicleta. En el caso de las motocicletas de competición, el paso por curva es el punto más crítico a la hora de conseguir buenos resultados, por ello, es el punto donde se necesita la máxima cantidad de adherencia posible. Uno de los principales encargados de conseguir esta adherencia es el sistema de suspensión.

Debido a los grandes ángulos de inclinación que se pueden alcanzar en las motocicletas modernas, cuando éstas alcanzan una curva, la dirección de trabajo de la suspensión se encuentra muy desalineada con la dirección de las perturbaciones que sufre el neumático.

Cuando se alcanza un bache con la motocicleta inclinada, la fuerza del bache es prácticamente vertical, de manera que sólo una componente de esta fuerza actúa en línea con la suspensión, mientras que la otra, actuará en dirección perpendicular a la motocicleta, Fig. 4.3. La relación entre estas componentes depende del ángulo de inclinación de la misma.

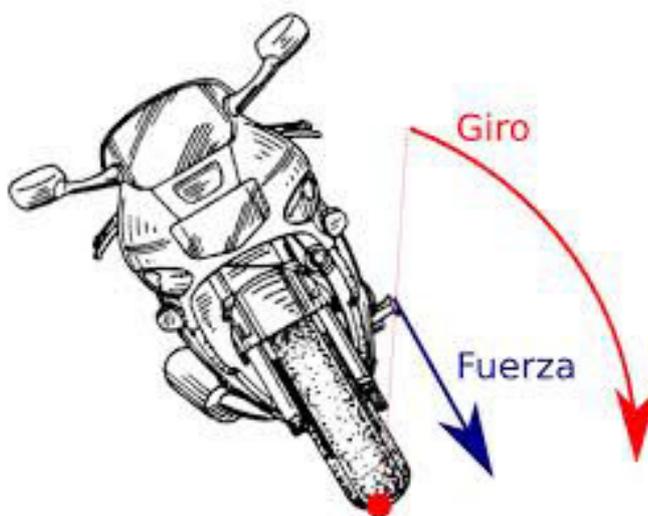


Fig. 4.3: Relación angular y dirección de las fuerzas en una curva.

Esto supone que, cuando una motocicleta inclinada se encuentra con un bache, parte del mismo es absorbido por la suspensión, y otra parte es absorbida por el resto de la motocicleta, como se puede observar a continuación, Fig 4.4.

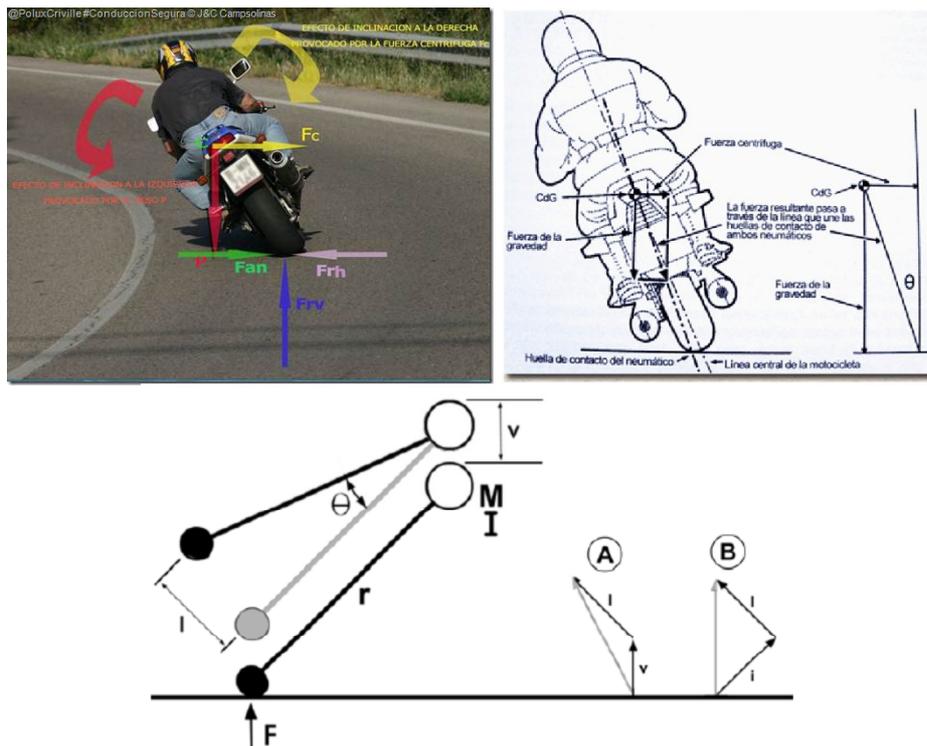


Fig. 4.4: Distribución de esfuerzos y momentos en irregularidades presentes en curvas.

Como se muestra en la figura el efecto generado sobre la moto se descompone en distintas acciones que conllevan a la generación de esfuerzos que se transfieren en el modelo general mecánico. Considerando la imagen superior izquierda tenemos la definición del efecto de las irregularidades en curva en relación a la altura del defecto (o hueco).

Esto en relación a la posición del centro de masa del conjunto de estudio (parte superior derecha de la figura) puede definir un modelo general de la acción de las fuerzas que se presentan en estos casos ayudándonos a establecer las condiciones análisis mecánicas implicadas en el modelado, distribuyendo las fuerzas como se observa en la parte inferior de la figura antes mostrada.

Todos estos esfuerzos sobre las suspensiones de las motocicletas son de vital importancia a la hora de diseñar la tija inferior, ya que determinan el buen funcionamiento del mismo. Por ello es de gran importancia no perderlos de vista a la hora de plantear el modelo mecánico a analizar.



### 4.1.3 Modelado 3D para conformación geométrica

Considerando las características anteriormente expuestas se procedió a modelar parcialmente la distribución de las partes que componen a nuestro sistema de estudio. Para esto mediante el software de diseño de Creo 2.0 se generaron las distintas piezas que conforman al sistema de suspensión. Cabe destacar que el modelo realizado no comprendió la generación específica de cada una de estas, sino a partir de las necesidades principales del sistema se generó un entorno correlativo entre ciertas geometrías principales y la base donde se incluirá la pieza a modelar.

Inicialmente en base a medidas teóricas se generó la parte inferior de nuestro sistema; en principio se concentró la idea de esto a fin de observar de una manera más adecuada la ubicación correspondiente a la tija inferior de suspensión. Como parte fundamental se tomaron las distancias correspondientes a las barras de suspensión de nuestro sistema junto a la barra eje rotatorio principal. Para esto se modelaron los tres puntos principales de nuestra tija, Fig. 4.6, y la separación que deben garantizar entre sí; así como también la sección inferior.

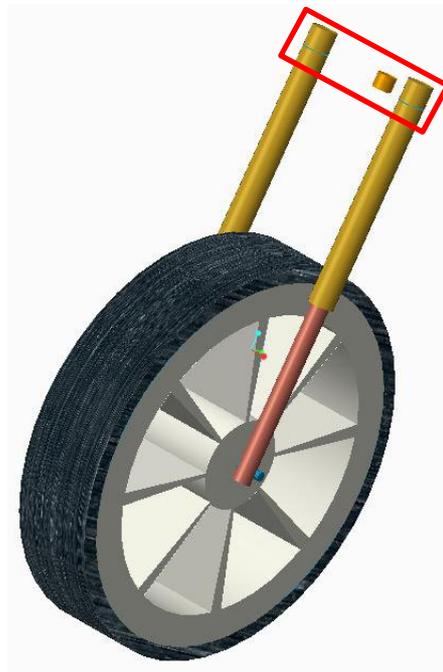


Fig. 4.6: Modelado inferior de parte delantera de un ciclo motor.

En cuanto a la sección superior de nuestra pieza, Fig 4.7, de igual manera que para la sección anterior se modelaron las partes más importantes a fin de llevar a cabo las relaciones de efectos a los que se encuentra expuesta la tija inferior una vez se encuentra

sometida a los efectos establecidos en la sección 4.1.1.3 donde se plantearon los mayores esfuerzos a los que se exponen.

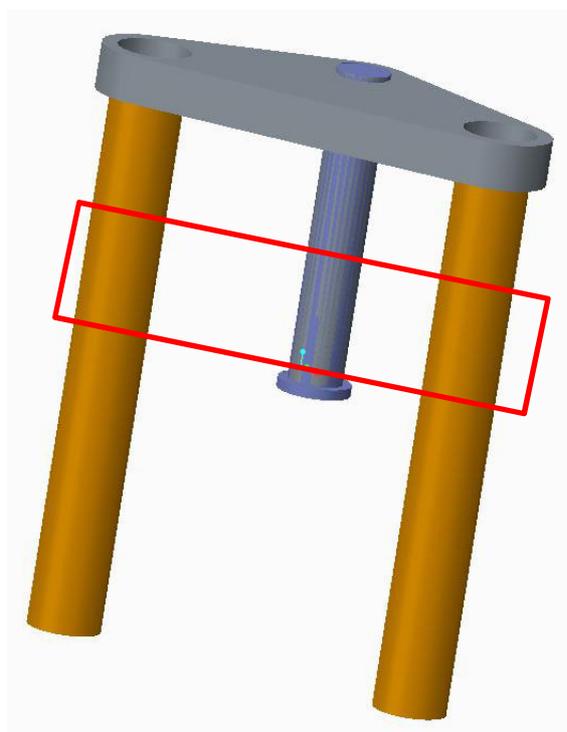


Fig. 4.7: Modelado superior de parte delantera de un ciclo motor.

Como se puede observar en las imágenes 4.6 y 4.7 la sección rectangular comprende la ubicación de nuestra pieza a realizar. A fin de comenzar el modelado de ésta se interrelacionaron cada una de las secciones y las distintas características implicadas en los distintos modelos de tija inferior.

Partiendo del modelo escogido (tija inferior de una Aprilia RS50) y los modelados 3D previamente realizados para nuestra pieza, se dio comienzo al diseño general de la pieza. Para finalizar el modelado 3D de la pieza se buscó una pieza real de este modelo, como se observa en la Fig. 4.8, mostrando donde está ubicada en el ciclomotor, los aspectos generales de forma y las partes que la componen, garantizando una mejor visualización de las características de la pieza y sus dimensiones fundamentales.

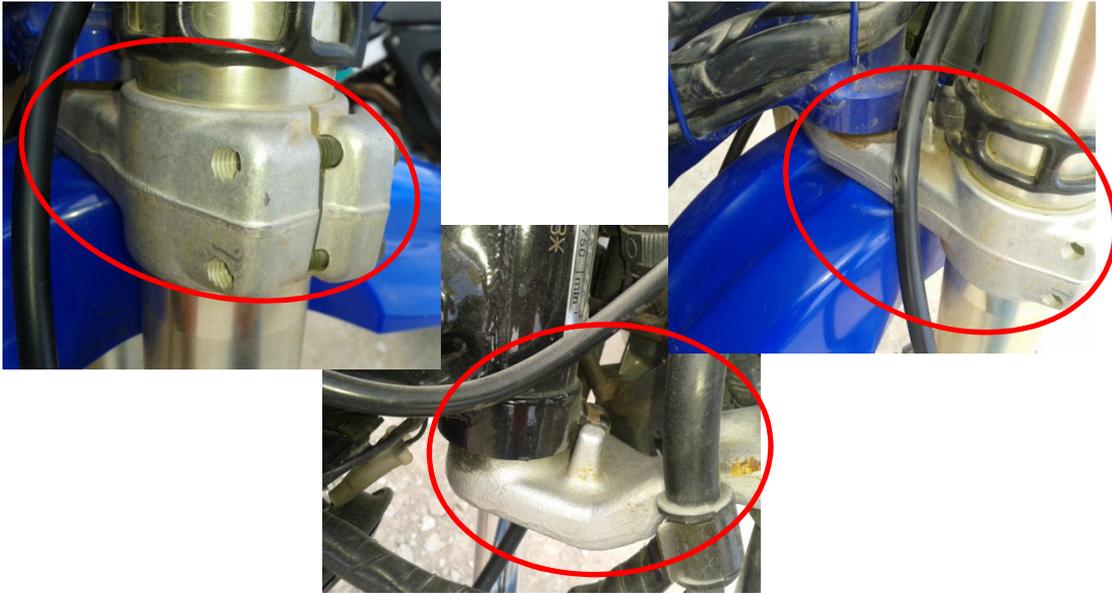


Fig. 4.8: Tija inferior montada sobre ciclomotor.

Con la pieza real y los distintos modelados se procedió a definir las medidas principales presentadas a continuación.

Tabla 4.1: Relaciones y requerimientos dimensionales basé para definición de la tija.

<b>Parámetro dimensional base</b>	<b>Dimensión (mm)</b>
Distancia entre barras telescópicas (entre centros)	$x = 175$
	$y = 0$
Distancia barra telescópica respecto eje central (entre centros)	$x = 87,5$
	$y = 45$
Diámetro de cavidades para barras telescópicas	35
Diámetro de cavidad para eje central de barra de dirección	26,02

Observando el esbozo de ésta tenemos, como se observa en la Fig 4.9.

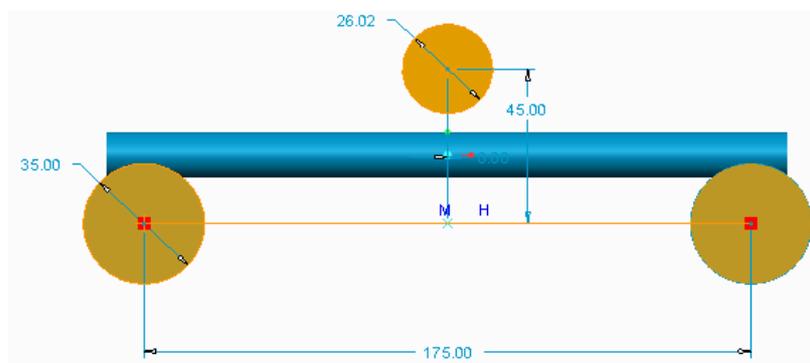


Fig. 4.9: Esbozo dimensional de ejes telescópicos y eje central para modelado de la tija.

## 4.2 Selección de materiales.

La determinación de uso de un material adecuado para la pieza a diseñar bajo las nociones y requerimientos implicados en su uso, se empleó el software CES 2011, a partir de los distintos criterios tomados en el diseño de la pieza se establecieron los parámetros en el software a fin de obtener una idea de los posibles materiales a emplear. Para llevar a cabo la selección de estos se compararon los requerimientos a estudiar con la funcionalidad y necesidades de esta. A fin de visualizar la amplia gama de materiales que existen, en base a las características generales y funcionales definidas en la sección 4.1, se compararon gráficamente los dos principales aspectos como son el módulo de Young y la fatiga (como valor comparativo de la resistencia a las vibraciones),

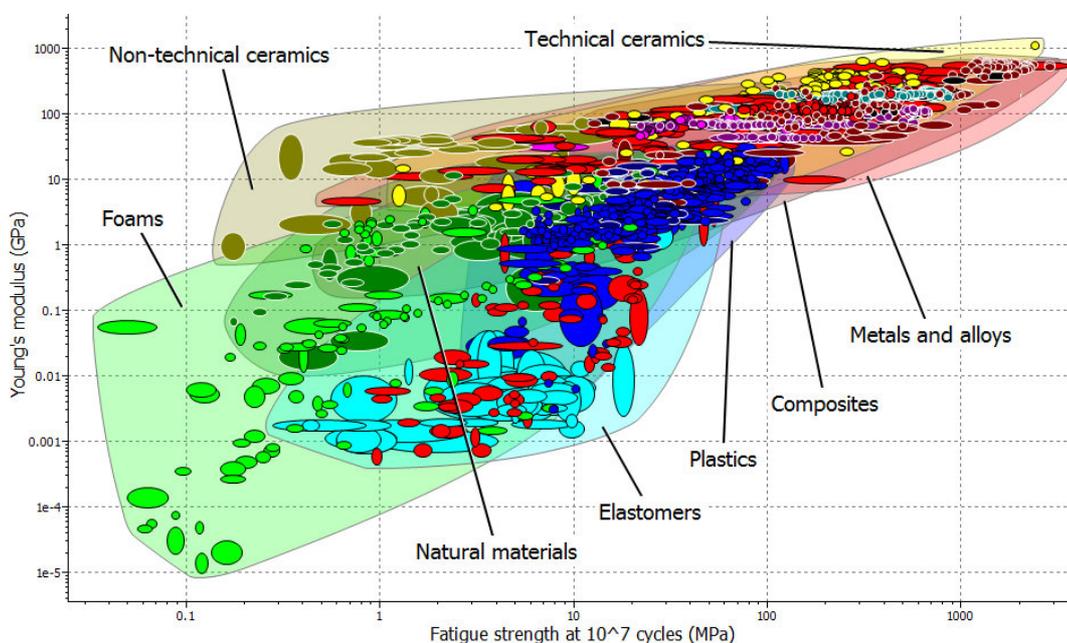


Fig. 4.10: Relación Módulo de Young's vs. Resistencia a la fatiga para distintos materiales en el CES.

Considerando que la pieza en estudio se realizaría por forja para abarcar un amplio análisis de la pieza, se trabajó principalmente con el uso de metales y las distintos tipos de aleaciones, reduciendo en buena medida la cantidad de materiales a considerar. Como se puede observar en la Fig 4.11 en comparación con la Fig 4.10, al limitar nuestra selección de materiales a metales y a sus aleaciones el número de materiales a escoger se reduce.

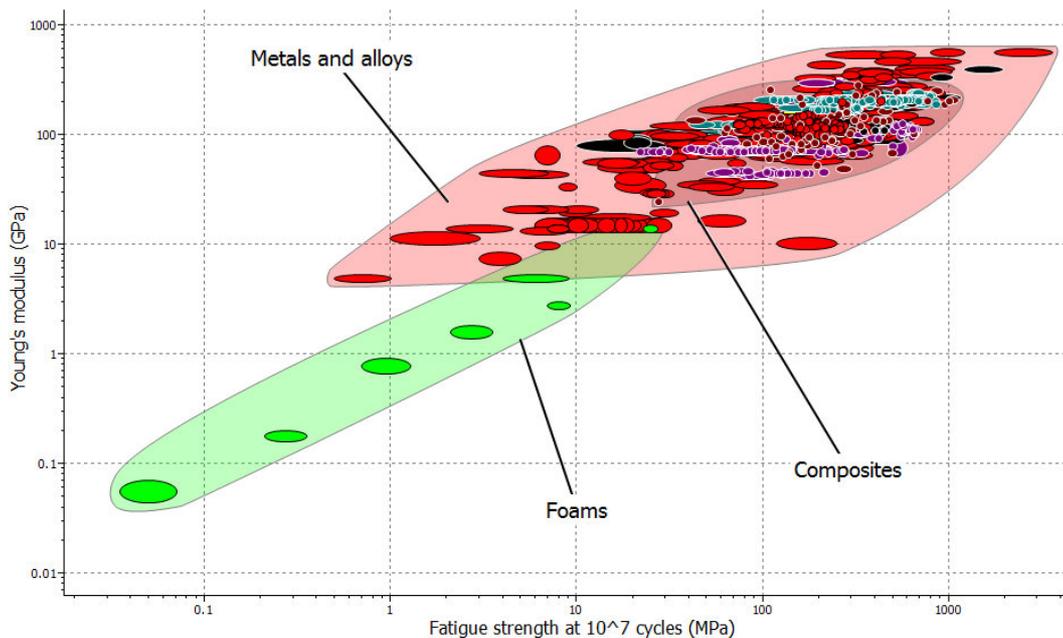


Fig. 4.11: Materiales metálicos y aleaciones comprendidos para selección de material.

Para minimizar el número de materiales, dentro de las funciones y criterios de comparación que permite el CES, se relacionaron varios aspectos, en principio se establecieron los siguientes.

- Módulo de Young's: mayor módulo nos garantiza una mayor resistencia bajo los distintos esfuerzos expuestos anteriormente, garantizando un funcionamiento adecuado.
- Densidad: Reducir la masa no suspendida, minimizando con esto la generación de posibles inercias durante el movimiento de la suspensión.
- Precio: la reducción de los costos implica una alta producción y menores pérdidas económicas por el material perdido que se produce durante la forja y posteriores procesos
- Resistencia a la Fatiga: Teniendo en cuenta que los esfuerzos aplicados no son constantes una mayor resistencia a la fatiga nos permite mantener las propiedades a efectos no cíclicos bien sea por la aplicación de esfuerzos en condiciones ambientales irregulares (respecto al terreno).

Establecidas las condiciones en nuestro programa se genera un número de posibilidades de uso para nuestra pieza, a fin de emplear el material más adecuado tanto funcional como comercialmente la selección tomada se muestra a continuación, Fig. 4.12.

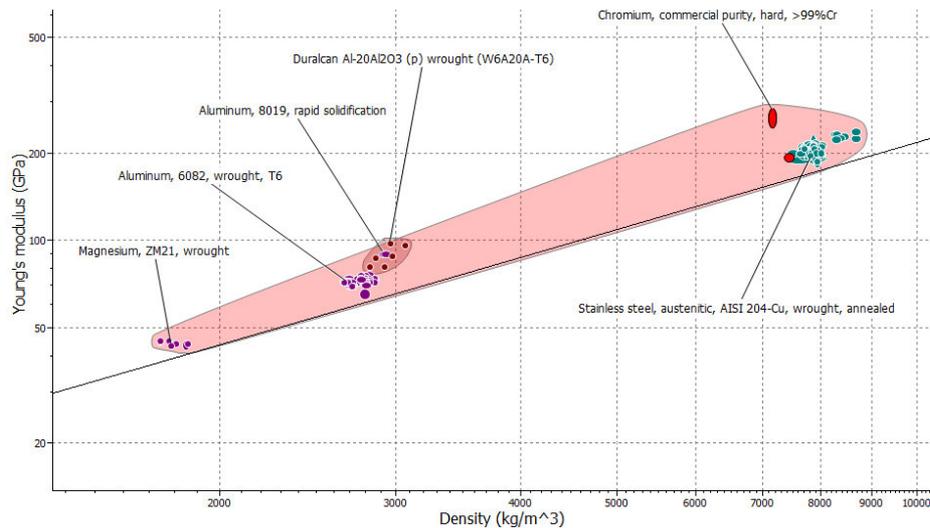


Fig. 4.12: Posibles candidatos a selección bajo relación Módulo de Young's vs. Densidad en CES.

A fin de cumplir con las propiedades y necesidades para nuestra pieza, como se estableció anteriormente, los materiales más adecuados para la pieza de estudio se centrarán en aleaciones de aluminio. Comercialmente y bajo nuestros requerimientos el uso de aluminio aleado o composites de aluminio pueden cubrir la funcionalidad y propiedad final. Aunado a todo esto tenemos que comercialmente y por fácil manejo de operatividad y obtención de nuestra producción, las variantes del aluminio bajo distintas aleaciones resultan adecuadas.

Para esto nuestro material de estudio seleccionado como base comparable al material usado comúnmente fue el Aluminio aleado EN-AW 6082 T6, Fig. 4.13.

Aluminum, 6082, wrought, T6				Aluminum, 6082, wrought, T6			
<b>General properties</b>				<b>General properties</b>			
<b>Designation</b>				<b>Designation</b>			
6082				6082			
<b>UNSN number</b>				<b>UNSN number</b>			
A96082				A96082			
<b>Density</b>				<b>Density</b>			
2.67e3 - 2.73e3 kg/m <sup>3</sup>				2.67e3 - 2.73e3 kg/m <sup>3</sup>			
<b>Price</b>				<b>Price</b>			
* 1.72 - 1.89 EUR/kg				* 1.72 - 1.89 EUR/kg			
<b>Composition overview</b>				<b>Composition overview</b>			
<b>Composition (summary)</b>				<b>Composition (summary)</b>			
Al/9Mg/1Si/.7Mn				Al/9Mg/1Si/.7Mn			
<b>Base</b>				<b>Base</b>			
Al (Aluminum)				Al (Aluminum)			
<b>Composition detail</b>				<b>Composition detail</b>			
Al (aluminum)				97 %			
Mg (magnesium)				0.9 %			
Mn (manganese)				0.7 %			
Si (silicon)				1 %			
<b>Mechanical properties</b>				<b>Mechanical properties</b>			
Young's modulus				70 - 74 GPa			
Flexural modulus				* 70 - 74 GPa			
Shear modulus				25 - 27 GPa			
Bulk modulus				65 - 72 GPa			
Poisson's ratio				0.325 - 0.335			
Shape factor				25			
Yield strength (elastic limit)				240 - 290 MPa			
<b>Hardness - Vickers</b>				95 - 105 HV			
<b>Hardness - Brinell</b>				95 - 105 MPa			
<b>Fatigue strength at 10<sup>7</sup> cycles</b>				90 - 100 MPa			
<b>Fatigue strength model (stress range)</b>				61.6 - 85 MPa			
<b>Fracture toughness</b>				* 33 - 35 MPa.m <sup>0.5</sup>			
<b>Mechanical loss coefficient (tan delta)</b>				* 1e-4 - 0.002			
<b>Thermal properties</b>				<b>Thermal properties</b>			
<b>Melting point</b>				575 - 650 °C			
<b>Maximum service temperature</b>				110 - 170 °C			
<b>Minimum service temperature</b>				-273 °C			
<b>Thermal conductivity</b>				169 - 175 W/m.°C			
<b>Specific heat capacity</b>				* 882 - 918 J/kg.°C			
<b>Thermal expansion coefficient</b>				22.5 - 23.7 µstrain/°C			
<b>Latent heat of fusion</b>				384 - 393 kJ/kg			
<b>Electrical properties</b>				<b>Electrical properties</b>			
<b>Electrical resistivity</b>				3.8 - 4 µhm.cm			
<b>Optical properties</b>				<b>Optical properties</b>			
<b>Transparency</b>				Opaque			
<b>Durability: flammability</b>				<b>Durability: flammability</b>			
<b>Flammability</b>				Non-flammable			
<b>Durability: fluids and sunlight</b>				<b>Durability: fluids and sunlight</b>			

Fig. 4.13: Propiedades físico químicas del aluminio EN-AW 6082 T6.

### 4.3 Método de fabricación.

Dadas las características de la pieza, los procesos para llevar a cabo la pieza se centran en el forjado y el mecanizado como métodos de producción. A fin de mostrar la selección de los procesos mediante el uso de los modelos integrados por computador, la plataforma de CES nos permite realizar la selección partiendo de distintos criterios o parámetros de estudio.

En el módulo de selección de procesos que facilita el CES se definieron dos aspectos fundamentales, separándolos como características cualitativas y cuantitativas. Para nuestro estudio se emplearon los siguientes aspectos correspondientes a la pieza, Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Consideraciones cuantitativas y cualitativas para platina de aluminio

<b>Parámetros</b>	
<b>Cualitativos</b>	<b>Cuantitativos</b>
Material: EN-AW 6082 T6	Peso $\approx 0,650$ Kg
Características del proceso: primario	Tolerancia $\geq 0,8$ mm
Forma: Sólido 3D con salientes transversales simples	Espesor $\geq 7$ mm

Cada una de estas consideraciones cuantitativas y cualitativas se centró en las características de la pieza así como de las bases teóricas obtenidas interrelacionando la funcionalidad y los requerimientos que deben cumplirse. Como bien se planteó en la sección anterior, el material a emplear fue el asignado en la tabla, el peso estimado de la pieza se obtuvo de catálogos. Dado a que nuestra pieza se compone de varios pasos para su confección se evaluó solo la condición primaria para ver los resultados.

Respecto a la forma, dentro de la plataforma CES se puede observar diferentes factores de forma respecto a las características generales de la pieza, haciendo revisión de las posibilidades establecidas la forma más adecuada a nuestro modelo se corresponde con un sólido 3D con salientes transversales simples, como se muestra en la Fig. 4.14.

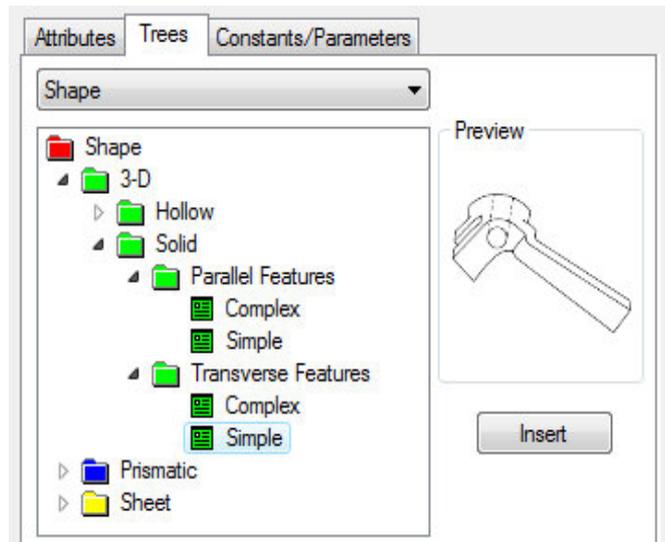


Fig. 4.14: Árbol de selección de modelo de forma en software CES.

En cuanto a las tolerancias y a los espesores de nuestro modelo, se basaron los valores en relación a catálogos, dándonos un aproximado de los valores estimados. Con esto se llevó a cabo las relaciones en torno a los aspectos cuantitativos y cualitativos, definiendo las gráficas correspondientes.

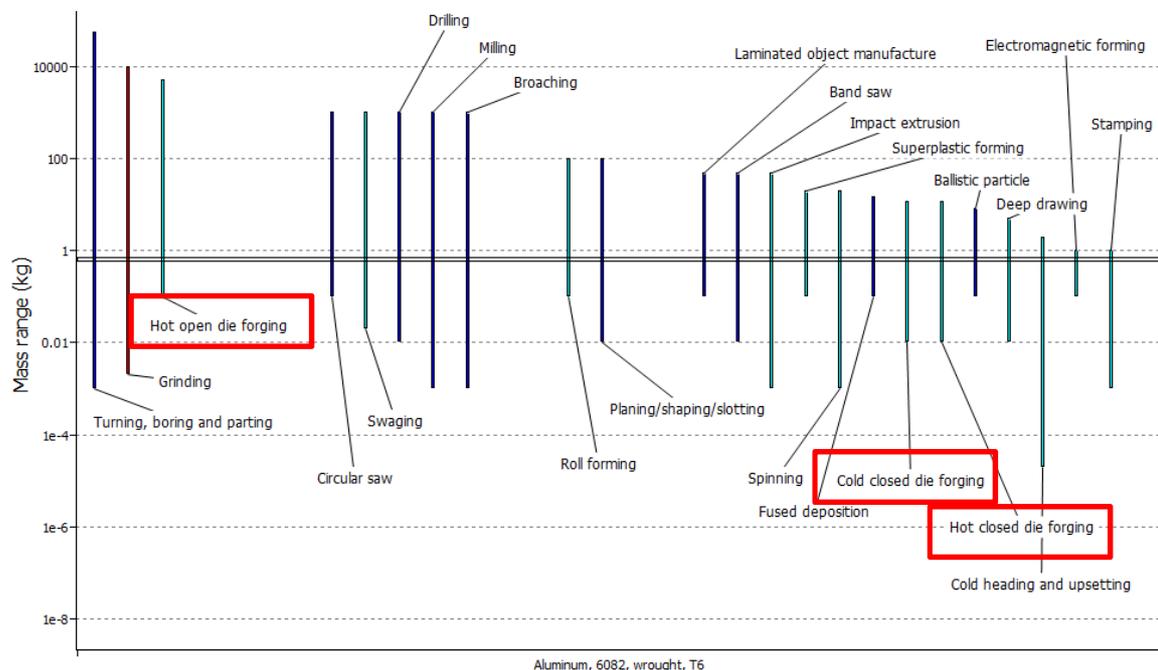


Fig. 4.14: Relación de Rango de peso vs. Material EN-AW 6082 T6

Graficando las primeras consideraciones definidas en la Tabla 4.2, se obtuvieron 23 posibles procesos asociados a nuestra pieza. Como se puede observar en la Fig. 4.14, el uso de la forja y sus distintas modalidades están dentro de las posibilidades, lo cual pretende una buena definición de las consideraciones tomadas. Seguido se procedió a comparar los

siguientes dos aspectos de nuestra tabla 4.2, relacionando la tolerancia estimada en relación a los procesos primarios asociados durante la conformación de la pieza.

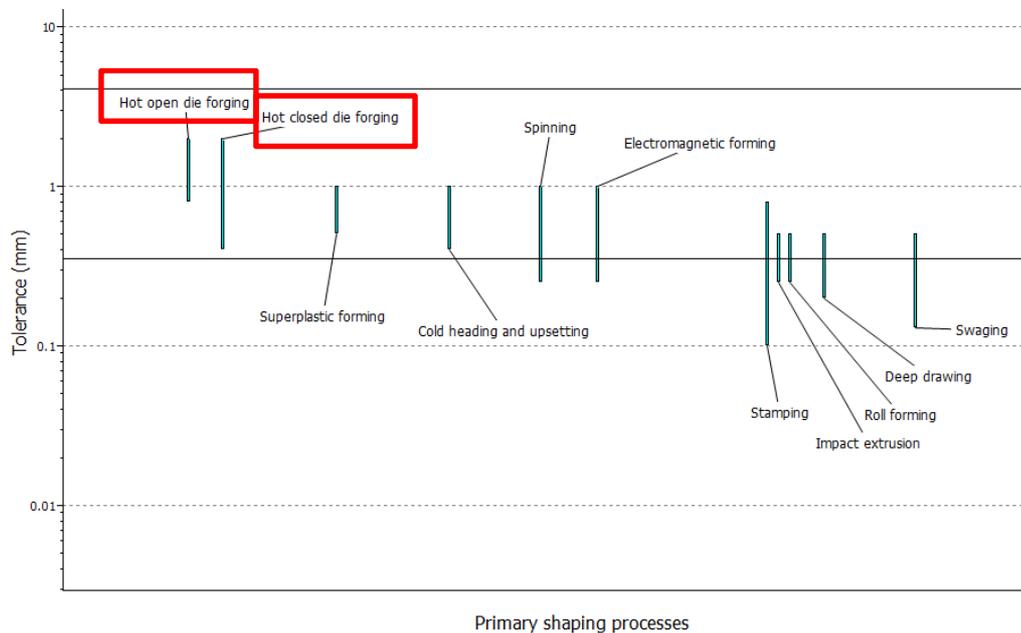


Fig. 4.15: Relación Tolerancia vs. Proceso de conformado primario.

Con esto nuestros posibles procesos de fabricación se redujeron a 11. Como se muestra en la Fig. 4.15, al comparar ambos parámetros siguen estando presentes los procesos de forja, junto a otros, lo cual ajusta más nuestro resultado al proceso ideado para la pieza.

Por último estableciendo la última de nuestras relaciones (Rangos de espesores frente a la forma sólido 3D con salientes transversales simple mostrado en la Fig. 4.14) se obtuvo la definición final de nuestro proceso a emplear. Teniendo en cuenta los valores cuantitativos presentados en la tabla 4.2 y la forma de la pieza, el número de procesos se redujo, estableciendo así la mejor modalidad a emplear, teniendo como resultado el proceso remarcado en la figura mostrada a continuación, Fig 4.16.

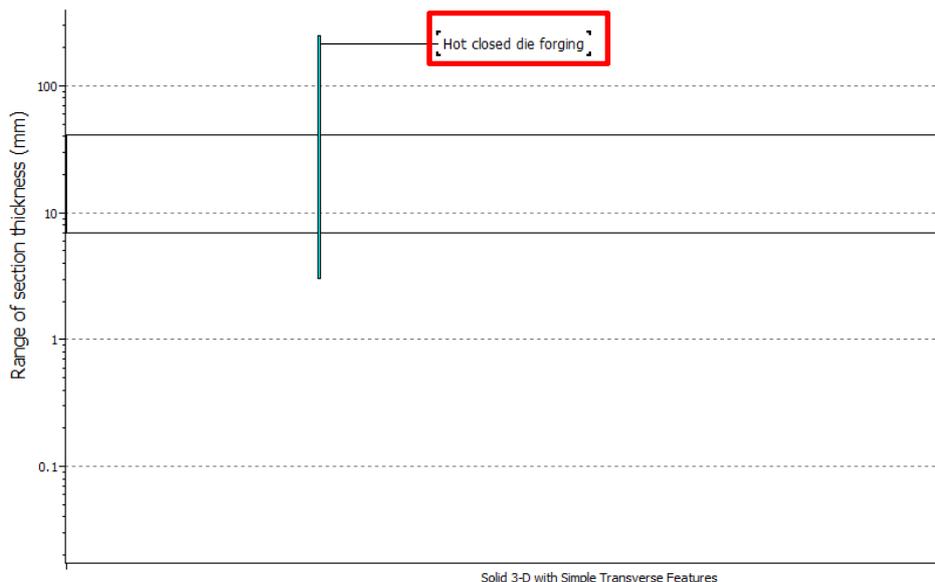


Fig. 4.16: Relación de Rangos de espesores vs. Forma Sólido 3D con salientes transversales simples.

Como se observa en la Fig. 4.16 nuestro resultado se definió para el proceso de forjado. En cuanto a cuál es el proceso de forja más adecuado a emplear, se apunta al forjado en caliente con un sistema de matriz cerrada. A partir de esta selección, el procesamiento y el análisis de nuestra pieza se modelarán para esta condición.

Referente al mecanizado, no se realizó el análisis bajo este sistema ya que para nuestra pieza se trata de un proceso secundario, por lo que resulta difícil adecuar los parámetros en el CES.

#### 4.4 Modelado 3D de tija inferior.

El modelado general de la pieza se realizó en el software Creo 2.0, obteniendo la geometría correspondiente a nuestra pieza y las dimensiones características que la definen. El modelo geométrico obtenido es el empleado en las simulaciones con el software de análisis de esfuerzos y de procesado, logrando así formar y definir los pasos a llevar a cabo para la obtención plena de nuestra pieza de estudio.

Para esto, asociando el modelo a dibujar mostrado en la Fig.4.1.(b) junto al modelo realizado para la suspensión, mostrado en la Fig. 4.6, se tomó los tres ejes principales de nuestro sistema; habiendo realizado previamente estos modelos se centraron nuestras piezas bajo los ejes principales de las columnas telescópicas y el eje central de movimiento de la rueda delantera de la motocicleta. Realizado el modelado, se comenzó el bosquejo principal de nuestro modelo de tija, como se puede observar a continuación, Fig. 4.17.

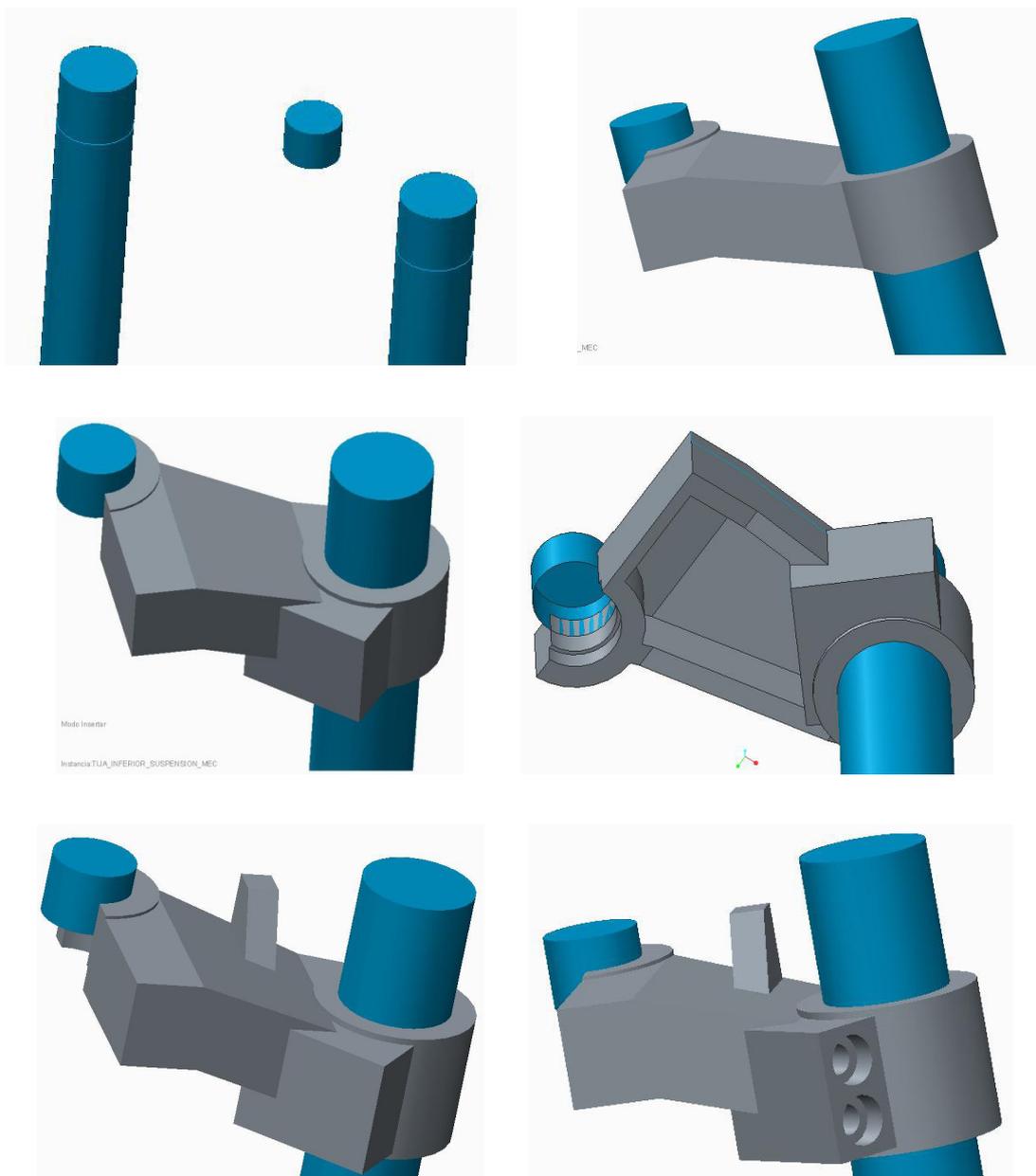


Fig. 4.17: Desarrollo geométrico y modelado parcial de tija.

Uno de los aspectos fundamentales para el desarrollo asistido de los procesos de forja se centra en la definición de la línea de partición o línea de unión de nuestro modelo. En la Fig. 4.18 se presenta el plano de partición utilizado (acorde a la línea de partición decidida), el cual garantiza la apertura adecuada de nuestro modelo y minimiza el uso de contrasalidas (modeladas más adelante).

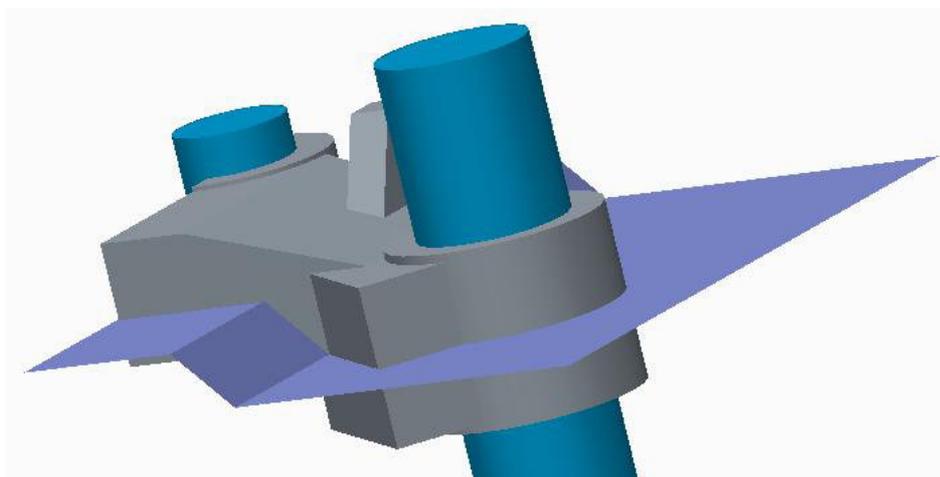


Fig. 4.18: Plano de partición (color morado) para tija inferior

Definido el plano de partición, se asignó el ángulo de desmoldeo que se establece en la norma UNE-EN 586-3: 2002 para aluminio y aleaciones de aluminio forjadas, teniendo en consideración el material seleccionado anteriormente. El valor correspondiente para nuestro ángulo de desmoldeo se definió sobre el rango estipulado entre 1-3° de inclinación. Finalmente se empleó un ángulo de 5°, como se observa en la Fig. 4.9, lo que excede nuestra medida, sin embargo no afecta el desmoldeo, garantizando una mejor salida.

Partiendo de los fundamentos aplicados en los procesos de forja y sus requerimientos, aunado a las necesidades funcionales de la pieza, se llevó a cabo el diseño de ésta.

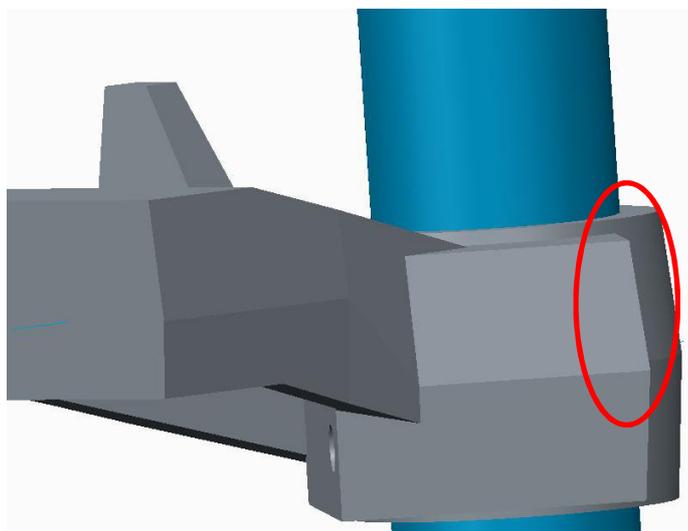


Fig. 4.19: Visualización de ángulo de desmoldeo asignado para la tija.

Una vez seleccionado el correspondiente ángulo de desmoldeo, se generaron los aspectos faltantes en la geometría final de la pieza. Por ejemplo, a fin de mejorar el desmoldeo se eliminaron los ángulos rectos de la pieza, posibilitando de esta manera una minimización

de los puntos en los que puedan incrementarse los esfuerzos para su salida una vez sea forjada. La presencia de ángulos rectos implica una mayor dificultad del llenado, requiriendo mayores presiones. Adicionalmente la presencia de éstos genera un efecto negativo sobre el molde, reduciendo el tiempo de vida útil del mismo.

Otro efecto minimizado al eliminar los ángulos rectos es la concentración de esfuerzos sobre estas zonas. Durante la forja caliente, el incremento de la temperatura y el golpe aplicado a la pieza incrementan las propiedades mecánicas del material, acumulando tensiones que pudieran fragilizar el material. Para estos, como se muestra a continuación en la Fig. 4.20, se redondearon aquellas partes que pudieran generar mayores efectos.

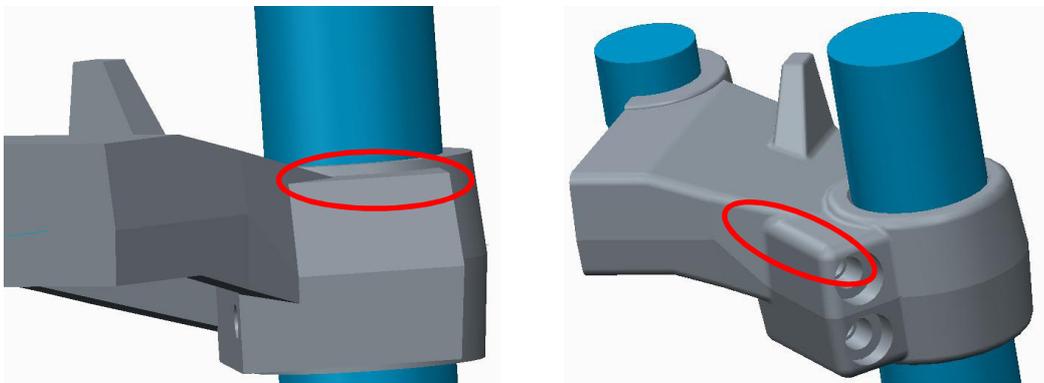


Fig. 4.20: Redondeo de ángulos rectos en el modelado parcial de la tija.

Realizado el redondeo de los ángulos rectos de nuestro modelado inicial se incorporaron otros aspectos faltantes de nuestra pieza, como son la sección de corte o ranurado para el funcionamiento de apriete de las barras telescópicas, y la incorporación de un saliente frontal, para soporte de complementos de la moto, mostrados en la Fig. 4.21 (a) y (b).

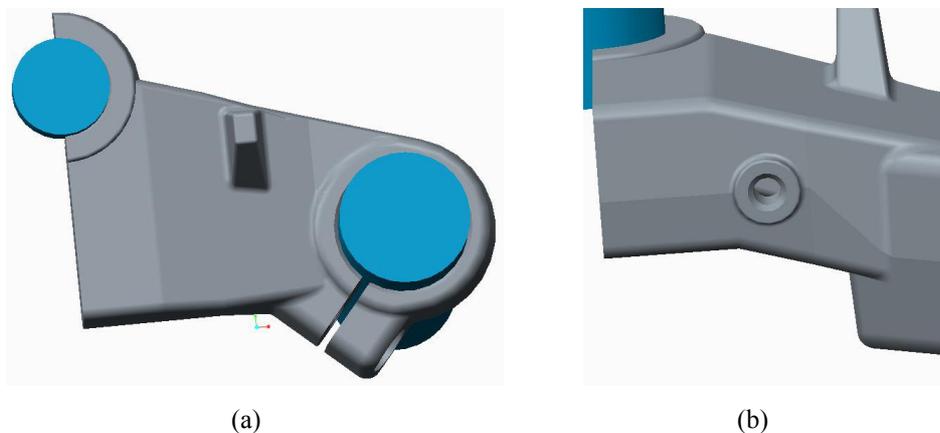


Fig. 4.21: Ranurado y adición de salientes transversales en modelo 3D de la tija inferior.

Ajustada la geometría final sobre una sola sección de la pieza, y teniendo en cuenta la simetría que presenta la misma, se completó el modelado duplicando la sección formada, obteniendo así la geometría completa.

Desde el punto de vista del modelado CAD la sola generación de la mitad de la geometría implica una minimización de los comandos necesarios para generar la pieza en su totalidad, reduciendo en buena medida el tiempo de diseño y de consideraciones a tomar, de igual manera el modelo generado sigue siendo funcional para procesos de estudios por elementos finitos, MEF. Sin embargo para los modelados posteriores se generó la pieza completa, garantizando así una mejor visualización de nuestra pieza de estudio; como se puede ver a continuación se presenta el modelo completo de nuestra tija, en la Fig. 4.22.

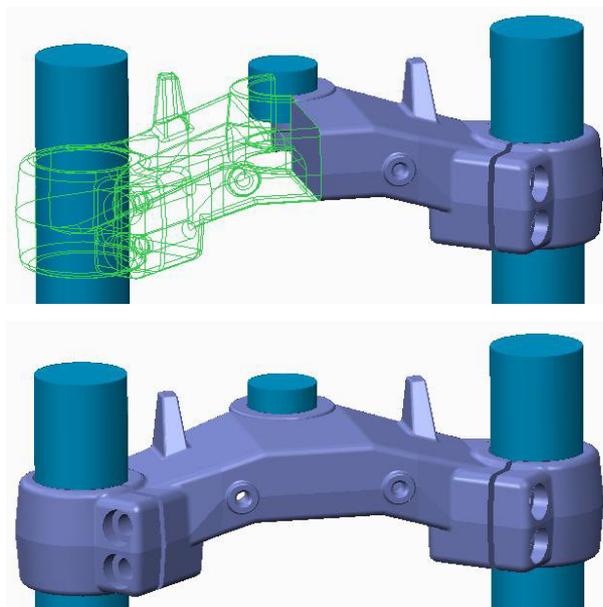


Fig. 4.22: Modelado parcial y complementado simétrico de la tija inferior.

A continuación se muestra el modelo final de la tija inferior, Fig. 4.23 empleado en la visualización y análisis posteriores. Una vez obtenida la pieza modelada se procedió a realizar los análisis correspondientes a las propiedades mecánicas a las que se ve expuesta y de qué manera, de ser necesario, debe ajustarse la pieza para que cumpla con su funcionalidad.

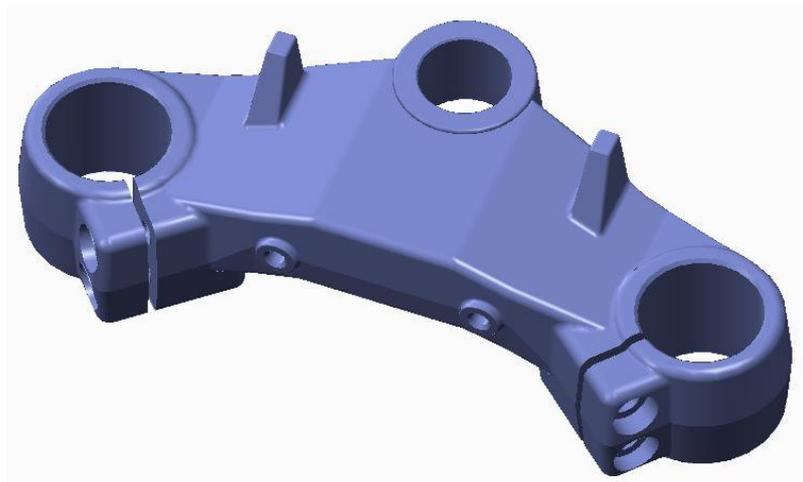


Fig. 4.23: Modelado CAD 3D final de tija inferior.

#### 4.5 Análisis mecánico de la pieza

Una vez realizado el modelo 3D de la pieza en base a las características y dimensiones comentadas, se dio comienzo al análisis general al que se ve sometida la pieza. Como se planteó anteriormente, los efectos generados sobre ésta representan los distintos requerimientos físico - mecánicos que deben cumplir, estableciendo las condiciones a analizar en el estudio de elementos finitos. Para llevar a cabo el análisis, se tomaron en consideración ciertos fundamentos mecánicos y teóricos a fin de evaluar el funcionamiento de la pieza.

Basado en investigaciones previas relacionadas con modelos de sistemas de suspensión, se tomaron en consideración los aspectos mecánicos resultantes y cálculos correspondientes a un ciclomotor. Pese a los distintos modelos de tijas y de sistemas de suspensión, la distribución general de las fuerzas a las que están expuestos se puede aplicar a nuestro caso de estudio, aceptando los fundamentos teóricos establecidos.

Considerando los valores reportados en el trabajo realizado por Castroverde, titulado “*Diseño y cálculo de la columna de dirección para una motocicleta con suspensión delantera alternativa*”, se elevó el valor de esfuerzos a fin de ajustarlos a un criterio de sobredimensionamiento, dada la posible situación de sobrecargas imprevistas. Se partió de la siguiente ecuación la cual define los valores teóricos a los que se somete un ensayo en relación a un coeficiente de seguridad.

$$Esfuerzo_{Cs} = C_s \cdot Esfuerzo_{real}$$

En nuestro caso el coeficiente  $C_s$  empleado fue de 1,5 sobre la medida funcional de esfuerzos y cargas soportadas, el uso de este factor garantiza que bajo desviaciones aleatorias, para los requerimientos previstos, exista un margen extra de compensaciones por encima de los valores necesarios.

Otras implicaciones necesarias para realizar los análisis MEF se centraron en el conjunto general de nuestro modelo, para esto se aplicaron las siguientes consideraciones de estudio, a fin de ajustar nuestro modelo lo mejor posible:

- Modelación de las interacciones entre componentes del subconjunto. Para que el modelo numérico fuese lo más fiel posible a la realidad. Resulta importante definir correctamente las interacciones entre los elementos del subconjunto (uniones atornilladas, uniones soldadas, deslizaderas etc.)
- Modelación de las condiciones de contorno. Para poder modelar las interacciones del subconjunto con elementos que no aparecen en el ensayo, era necesario definir cuidadosamente unas condiciones de contorno.
- Aplicación de las cargas. Calculadas y analizadas las cargas que actúan sobre el subconjunto, era necesario implementarlas en el modelo numérico de la forma más similar a la realidad.
- Elección del caso más desfavorable. En todos los anteriores puntos, siempre se ha elegido el caso más desfavorable para asegurar que, incluso bajo las peores condiciones de uso, la integridad de la motocicleta no correrá peligro.
- Lanzamiento de un caso inicial y refinamiento de la malla. Tras obtener unos primeros resultados, se han analizado los puntos de mayor concentración de tensiones y se ha refinado la malla en esos puntos en busca de una mayor precisión en la simulación.

Partiendo de las condiciones establecidas, mediante el análisis en el software Ansys, se obtuvo la visualización de los efectos a los que se ve expuesta nuestra pieza. Para realizar el simulado de nuestra pieza de estudio, una vez reproducida las características geométricas de la misma y cubierto el diseño general de la pieza, se transfirió el archivo desde el CAD al Ansys. Cabe destacar que a fin de observar mejor la distribución se adicionó a nuestro modelo de estudio las barras telescópicas que conforman al sistema de

suspensión, pero solo a modo de visualización, ya que estas piezas no fueron evaluadas en el sistema.

Pese a la ausencia del modelado real de nuestro entorno (en donde se pudieran modelar cada una de las partes que compone a un sistema de suspensión, desde los amortiguadores, muelles, casquillos y rolineras que lo componen), y las condiciones mecánicas en las que se encuentra nuestro objeto, el software nos permite aproximar los efectos de las cargas que se encuentran deslocalizadas. Parte importante de esta posibilidad se centra en el hecho de que muchos de los efectos a los que se ve expuesta la tija se transfieren sobre otros componentes, lo cual modifica el modelado completo y la aplicación real de las cargas a las que se somete la pieza.

Primero se generó un archivo compatible entre ambas plataformas a fin de poder realizar el modelado necesario. A continuación se presenta el modelo transferido desde Creo 2.0 generado a partir de un archivo formato .step, Fig. 4.24.

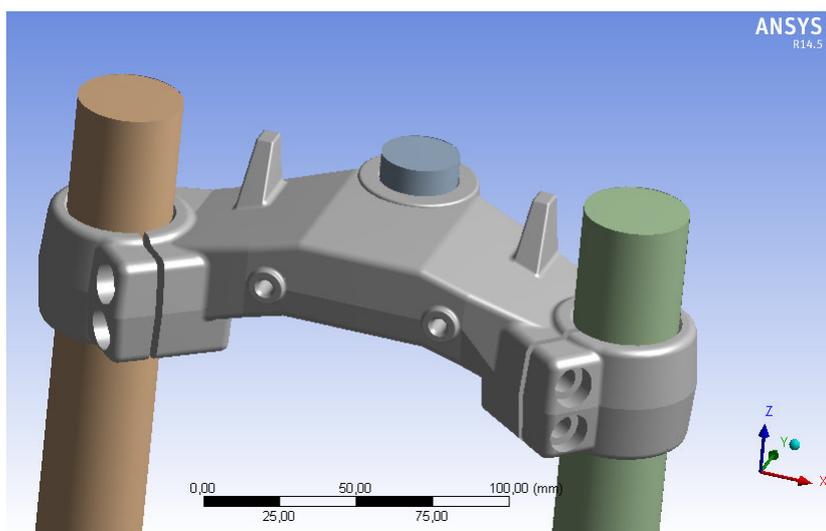


Fig. 4.24: Modelado de tija y ejes principales en Ansys Workbench.

Como se puede observar nuestro modelo, Fig. 4.24, presenta los tres ejes principales de acople y la base genera. En principio, la definición de ésta representa una aproximación al modelo real. A través de los análisis realizados se ajustará el modelo 3D de la pieza (tija) para que cumpla con la funcionalidad esperada.

La condición ideal para nuestro estudio debería incluir un sistema general lo más ajustado a la realidad, incluyendo las distintas partes (piezas) que conforman al sistema de suspensión, sin embargo, estudios previos realizados sobre estos sistemas nos permite

definir en líneas generales las condiciones reales transferidas a un modelo simplificado. El software, por ejemplo, permite realizar estos estudios considerando una transferencia de fuerza sin necesidad de un sistema físico, como si de un ajuste virtual del entorno se tratara.

Inicialmente se consideró, como base de estudio un sistema estructural estático, la definición de este sistema estático nos permite estimar la manera en que los efectos de las fuerzas y soportes de nuestra pieza se ven afectados. Esto se basa en la determinación de desplazamientos, esfuerzos, tensiones y fuerzas en las estructuras causadas por cargas que no inducen una inercia significativa ni efectos de amortiguación. Como se muestra en la Fig. 4.25 para nuestro estudio se seleccionó un modelo estático, en donde se pudieran definir la geometría exportada y los modelados mecánicos a analizar.

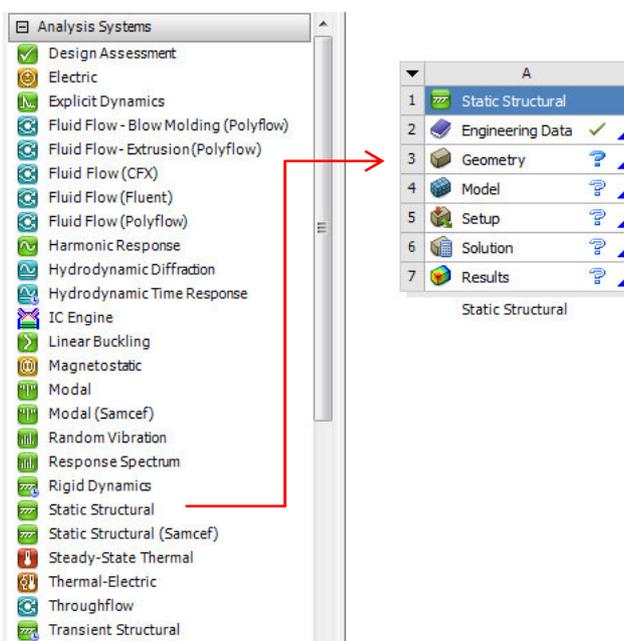


Fig. 4.25: Sistema de análisis estructural estático para tija inferior.

Para poder emplear un sistema estructural estático para nuestro análisis, se supuso que las cargas aplicadas eran constantes, es decir, las cargas y la respuesta de la estructura variaban lentamente respecto al tiempo. Cabe destacar que las cargas a las que se someten estas piezas tienden a ser cíclicas, generando consigo un efecto de fatiga sobre nuestra pieza, sin embargo, este efecto no fue tomado en cuenta, modelando así las cargas de manera estática.

Una vez definida la condición de análisis se definió el material (seleccionado en la sección 4.2). Para esto, dentro de los modelos generales que soporta la base de datos de

Ansys, se seleccionó el material en su último estado, esto quiere decir, que como bien se establecerá más adelante, nuestra pieza requiere de tratamientos posteriores lo cual modifica sus propiedades finales. A continuación se presenta el modelo de selección de materiales incluidos en la plataforma de Workbench, permitiendo de esta manera asociar las características mecánicas del aluminio 6082 T6 seleccionado y su comportamiento bajo las distintas condiciones mecánicas a las que se expondrá.

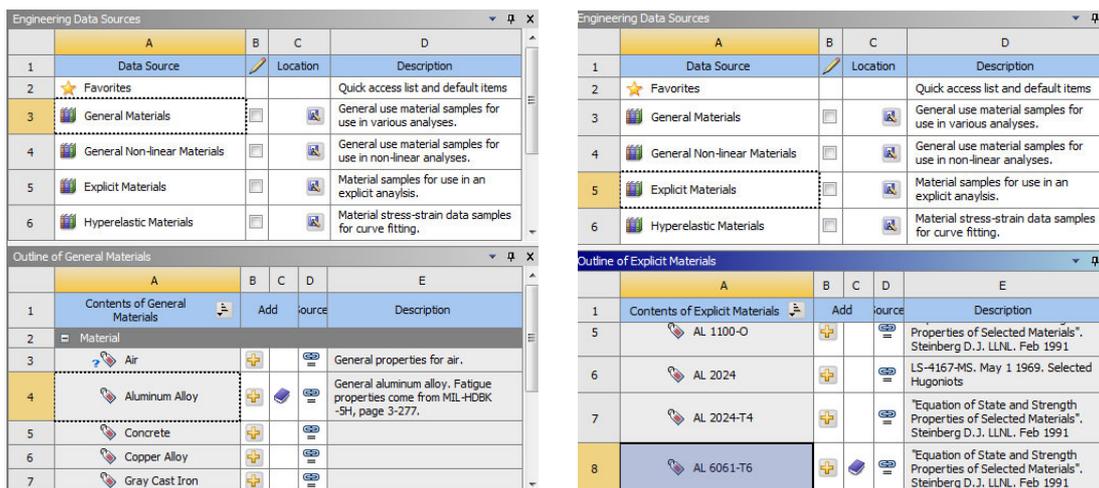


Fig. 4.26: Definición de material de estudio en la base de datos de Ansys Workbench.

A continuación se cargó el modelo geométrico antes realizado, como se muestra en la Fig. 4.27.

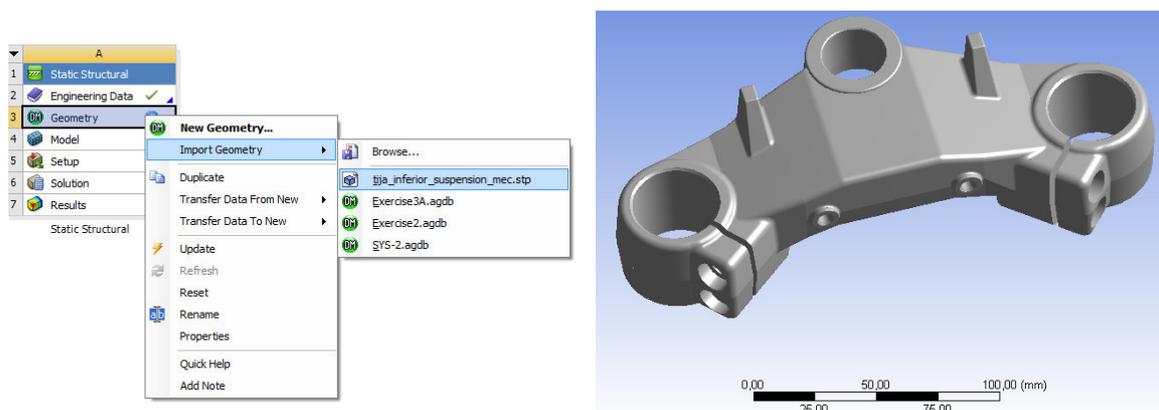


Fig. 4.27: Selección de geometría de estudio de modelado 3D de la tija en la plataforma Ansys.

Teniendo en cuenta que al cambiar de una plataforma a otra puede generarse fallos en el modelo, por ejemplo discontinuidades, se verificó que la pieza estuviera adecuada a estudio. De faltar o presentarse algún error se completaría la superficie general para nuestro sistema. Sin embargo, la transformación no requirió de modificación alguna de nuestro modelo.

Verificada la distribución correcta de nuestro modelo, se llevó a cabo el mallado de la pieza. Inicialmente se generó una malla por defecto, obteniendo el resultado mostrado en la sección (a) de la Fig. 4.28. Refinando el tamaño de los elementos, a fin de ajustar más el modelo y los análisis, se incrementó el número de elementos finitos utilizados, Fig. 4.28 (b). Esta condición implica un mayor ajuste de los cálculos implicados en la simulación, garantizándose así una mejor aproximación al comportamiento real de nuestra pieza.

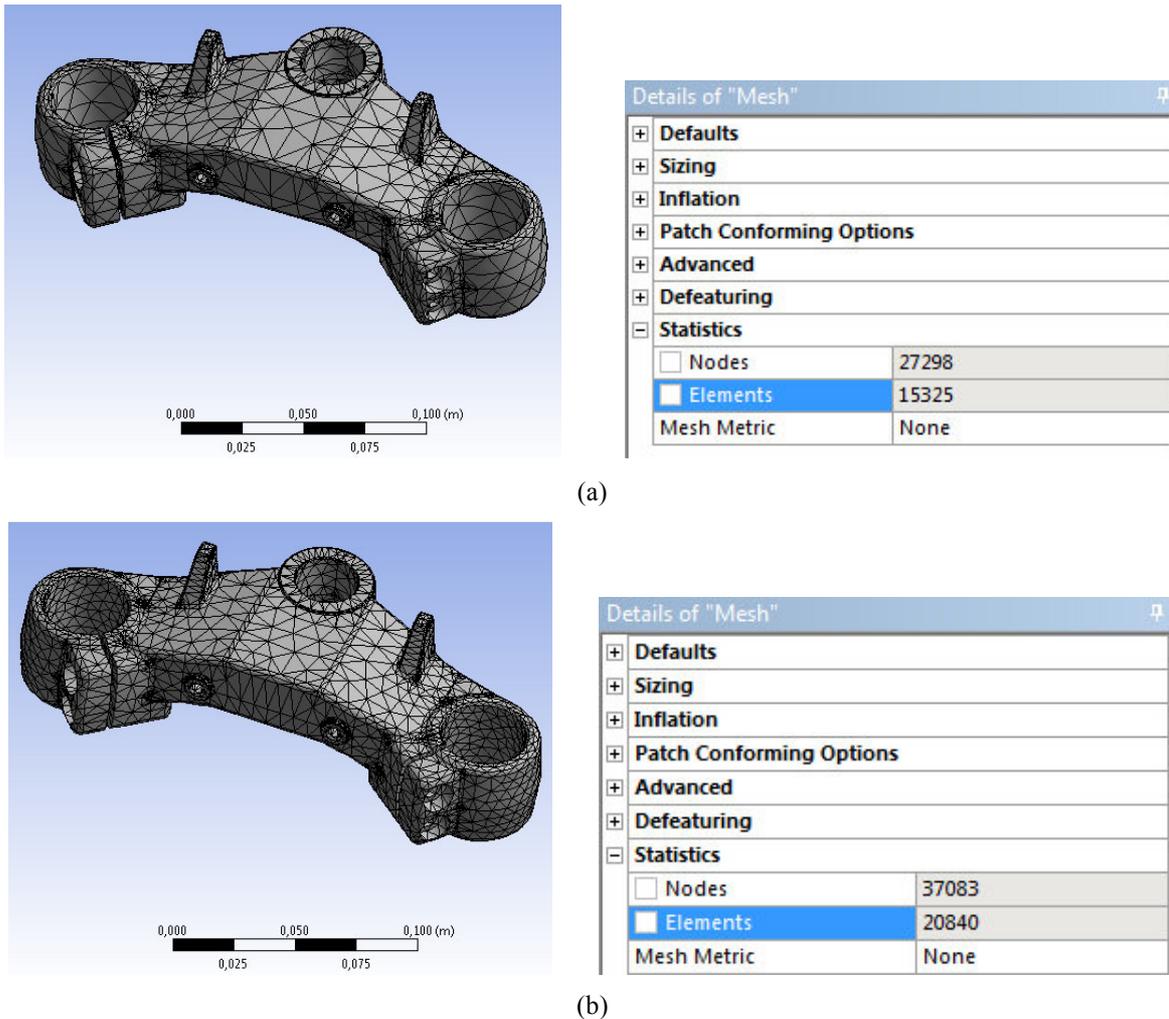
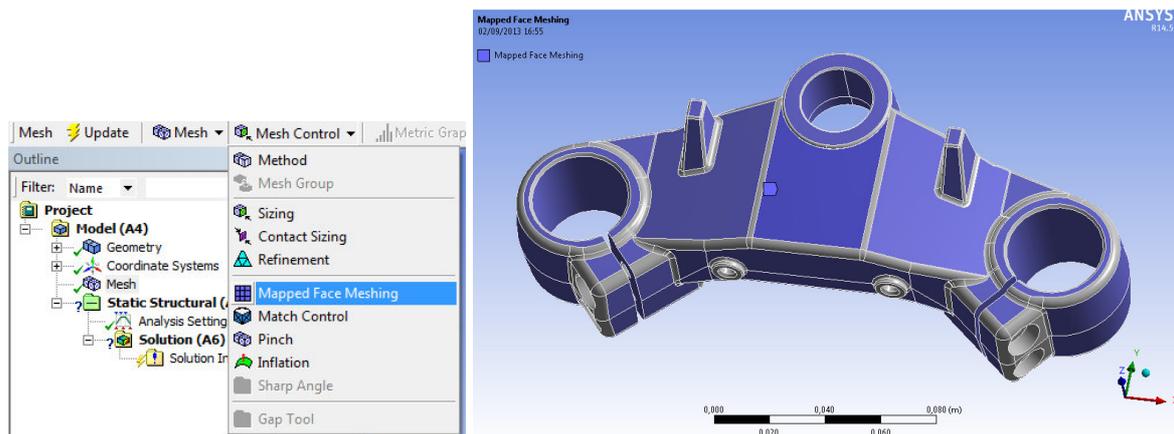
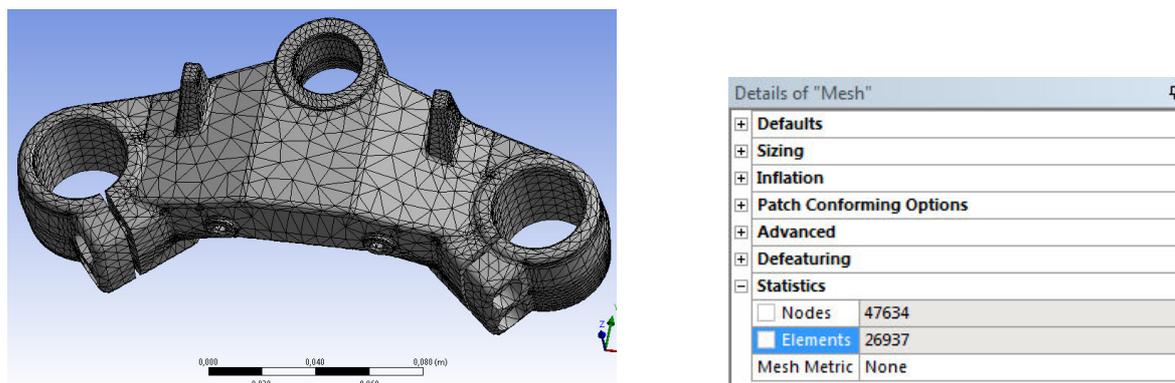


Fig. 4.28: Definición y refinamiento de mallas en Ansys (a) Malla generado por default y (b) Malla refinada a tamaño medio.

Pese a tener un buen ajuste de la malla para nuestro modelo, debido a las características de la pieza se modificaron las mallas definidas sobre las caras plana. Con este efecto la relación de cálculos finitos sobre nuestro modelo garantiza una mejora del entorno. Como se muestra en la Fig. 4.29, se seleccionaron todas las caras planas de nuestro modelo, y se aplicó el mallado de las caras mediante mapeado, obteniéndose el modelo final a usar.



(a)



(b)

Fig. 4.29: Malla final (a) selección de superficies para remallado superficial de caras y (b) Malla final resultante.

Ya definida nuestra malla se plantearon cada una de las condiciones de ensayo a evaluar, principalmente se tomaron los esfuerzos equivalentes y la deformación una vez se somete nuestra pieza a los efectos de las cargas. Repasando los problemas tradicionales a los que se expone la suspensión delantera se analizaron los tres planteamientos de irregularidades en rectas, en curvas y en la frenada.

Los esfuerzos más importantes que soporta la tija son los de frenada, además al estar acoplado con el conjunto de las botellas telescópicas, se genera un máximo esfuerzo que supone la transmisión de un par de fuerzas de giro que juegan distintos efectos en las características generales.

Para definir nuestros modelos, y teniendo en cuenta que los análisis a llevar a cabo se generan desde un mismo modelo, se definió el material y la geometría, a continuación se modeló el esquema general de análisis y las interrelaciones entre los distintos puntos a analizar, resultando el esquema mostrado en la Fig.4.30.

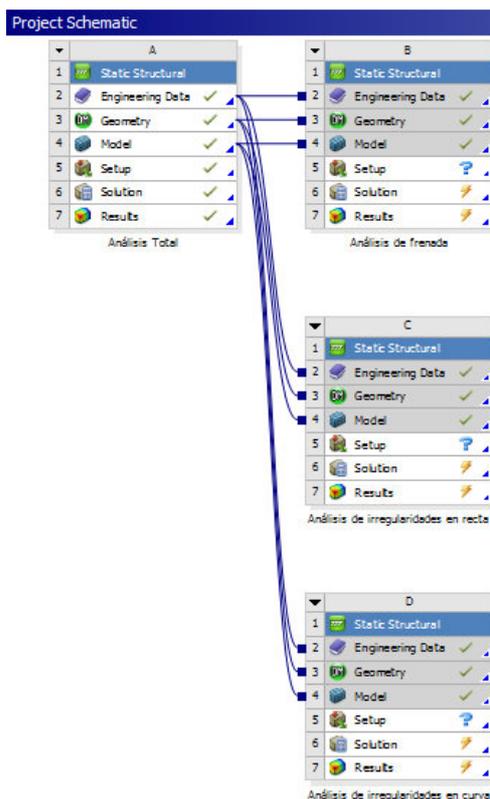


Fig. 4.30: Definición de esquemas de análisis e interrelaciones para modelo de tija inferior para múltiples condiciones en Ansys.

Para obtener unos resultados fiables es de vital importancia realizar unos análisis cuyas condiciones sean lo más similares posibles a las condiciones reales de trabajo de las piezas. Por ese motivo, no se han analizado cada una de las piezas de la columna de dirección por separado. Si no que, las piezas, se han estudiado en subconjuntos que soportan distintos tipos de cargas.

En cuanto a la fatiga de los componentes, no se ha realizado ningún análisis. Se ha considerado que, con el coeficiente de seguridad utilizado, se obtienen unas cargas lo suficientemente alejadas del límite elástico para suponer que la fatiga de los componentes no supone ningún riesgo para la integridad estructural de los mismos durante su ciclo de vida. Ya definidas las relaciones y requerimientos múltiples de análisis se definieron cada una de las condiciones borde y las cargas aplicadas para cada uno de nuestros casos de estudio.

#### a) Definición de condiciones de interfaces.

En este caso, las interfaces existentes se encuentran en tres puntos fundamentalmente, en los dos puntos de acople de la barras telescópicas y en el punto de apoyo central del eje de

dirección. Para las dos primeras condiciones se han impuesto unas uniones a presión entre ambas (simulando el apriete que ejerce la tija sobre la barra), para esto se definieron los contactos entre la tija y la barras como un sistema “unido” garantizando la fijación.

Respectos a los tornillos, teniendo en consideración que los mismos garantizan el apriete y permanencia fija de nuestras barras, no se tomaron en consideración para el análisis de nuestro modelo, esto se debe a que previamente se definió el contacto entre las barras y las tijas como fijas.

Referido al eje central, se estableció entre la tija inferior y el eje central un contacto permanente, sin asociar ambas superficies, a fin de garantizar la movilidad del eje manteniendo la posición general que posee.

#### **b) Definición de condiciones de frontera.**

Para garantizar que esta estuviera fija a nuestra tija se establecieron condiciones en donde se mantuvieran fijos los contactos entre la tija y el eje de dirección a fin de visualizar el comportamiento al que se encuentran las barras telescópicas y de qué manera estas ejercen efectos sobre la tija.

#### **c) Definición de cargas**

Simplificando los análisis mecánicos y la manera en que estos se comportan, basándose en modelados teóricos, se puede decir que nuestro sistema se comporta como una viga empotrada, lo que concentra los máximos esfuerzos sobre las tijas, direccionando las fuerzas a las que se somete nuestro modelo.

La carga que ejerce el piloto tiene su punto de anclaje en el extremo más alejado del semimanillar del ciclo motor distribuyéndose la carga a lo largo del manillar, por lo que suponer que está aplicada sobre el extremo significa asumir unas condiciones menos favorables que las reales. El máximo esfuerzo que el piloto ejerce sobre el semimanillar es de 12kg, transfiriendo esta propiedad a un esfuerzo generalizado sobre las bases de nuestras vigas telescópicas tenemos que:

$$Esfuerzo_{Cs} = C_s \cdot Esfuerzo_{real}$$

$$F_{aplicada} = C_s \cdot m \cdot F_g = 1,5 \cdot 12 \text{Kg} \cdot 9,8 \text{m/s}^2 = 176,40 \text{N}$$

Respecto a los esfuerzos que sufre el conjunto de la Fig. 4.31, durante la transmisión del par de fuerzas del giro, se recurrió a la literatura para su estimación. Basados en los datos reportados, se establecen valores máximos aproximados a  $60 \text{N.m}$ .

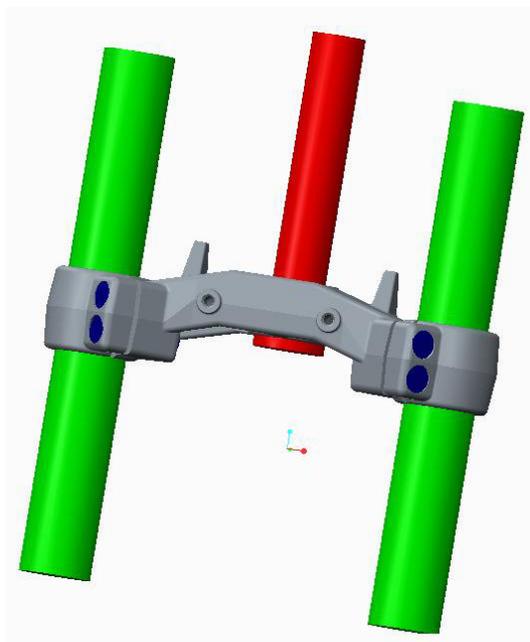


Fig. 4.31: Partes fundamentales de estudio para las condiciones en Ansys.

#### 4.5.1 Simulación para condición en presencia de irregularidades en recta.

Observando la imagen anterior, Fig. 4.31, se puede apreciar que la suspensión sigue una trayectoria prácticamente rectilínea. La principal particularidad de este caso es que se soportan los esfuerzos del trabajo sobre la tija proyectándose a través de las barras telescópicas. Considerando estos aspectos y la conformación del sistema de suspensión se definieron las condiciones de análisis sobre la base de ensayo teniendo el modelo mostrado en la Fig. 4.32, donde las fuerzas se ven aplicadas en la base de las barras yendo en la dirección mostrada con flechas rojas, y el punto denotado con la flecha azul y la letra se corresponde a la posición fija de nuestro modelo.

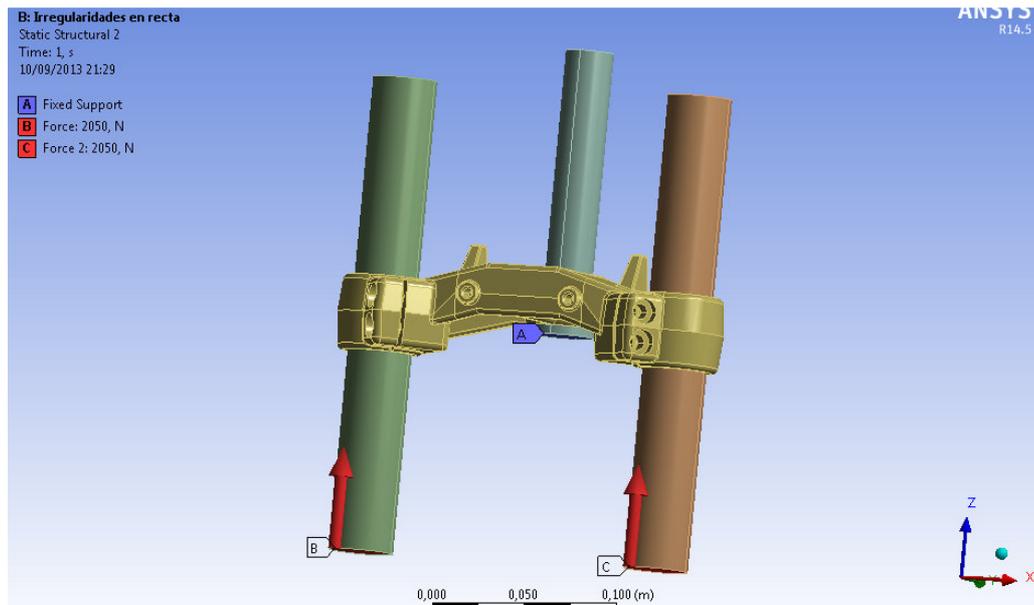


Fig. 4.32: Modelado de soportes y cargas para análisis de efectos de irregularidades en recta.

Definidas las características de nuestro caso de estudio, se definieron los valores de los esfuerzos implicados. Basado en modelos supuestos, las fuerzas a las que se expone nuestro caso de estudio se aproximan a los  $2000\text{ N}$ , lo que genera el efecto mostrado a continuación, véase Fig. 4.33.

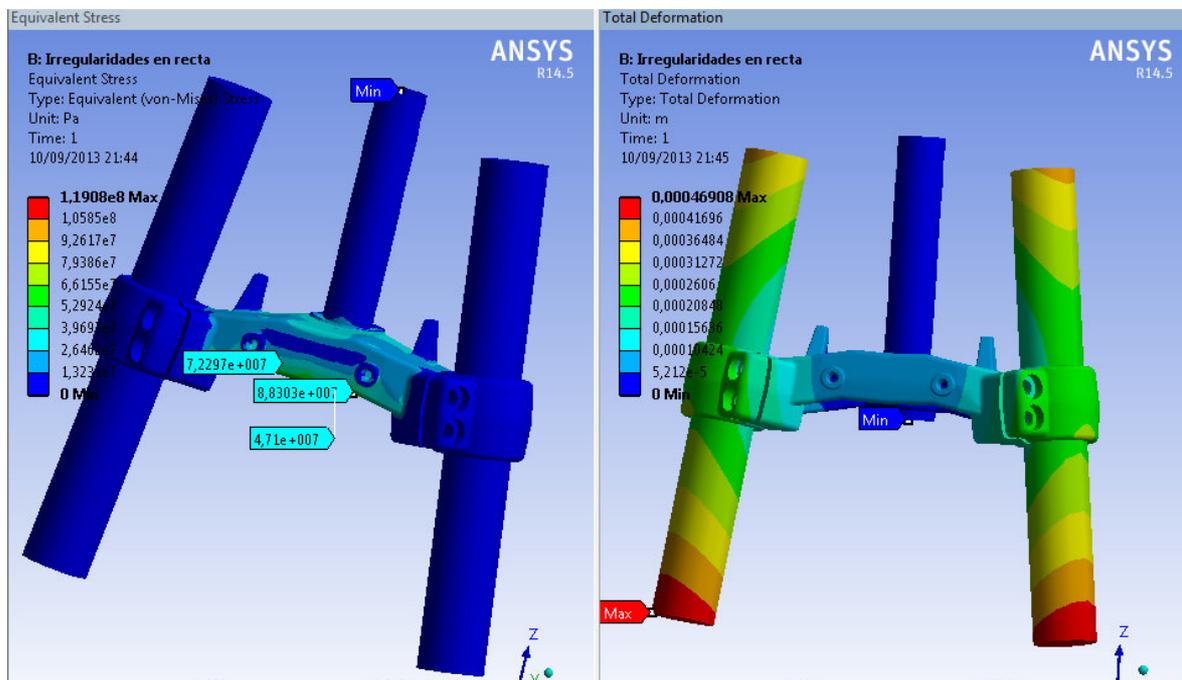


Fig.4.33: Análisis mecánicos resultantes para esfuerzos equivalentes y deformación de la tija inferior para irregularidades en recta.

Considerando los resultados obtenidos tenemos que nuestro modelo se ve sometido a esfuerzos equivalentes a  $88\text{ MPa}$  y una deformación máxima  $0,00026\text{ m}$ . comparando con

las propiedades del material seleccionado nos encontramos por debajo del límite elástico, lo que garantiza un buen funcionamiento de la pieza. Adicionalmente la baja deformación garantiza la rigidez del sistema y la minimización de posibles efectos no deseados.

#### 4.5.2 Simulación para condición durante el frenado.

A diferencia de nuestro caso anterior durante el frenado se ejercen esfuerzos menos drásticos que en presencia de un bache, sin embargo para esta condición se genera un momento en la rueda lo que implica un modelado donde la deslocalización de ciertas fuerzas debe asignarse salidas del entorno inicialmente cargado. Para esto se definió un punto en donde se ubicó la fuerza correspondiente.

Como se puede observar a continuación, Fig.4.34, la distribución y definición de nuestras condiciones fueron las siguientes. Cabe destacar que la dirección de la fuerza se base en la inclinación de las barras telescópicas respecto al suelo, siendo este parámetro de  $7^\circ$ . Con esto se descompuso el valor definido en modelos teóricos para la fuerza generada en el frenado y la relación del momento que ejerce sobre nuestra pieza (dado a que este se encuentra alejado de nuestra pieza se definió un punto virtual denotado con el punto D).

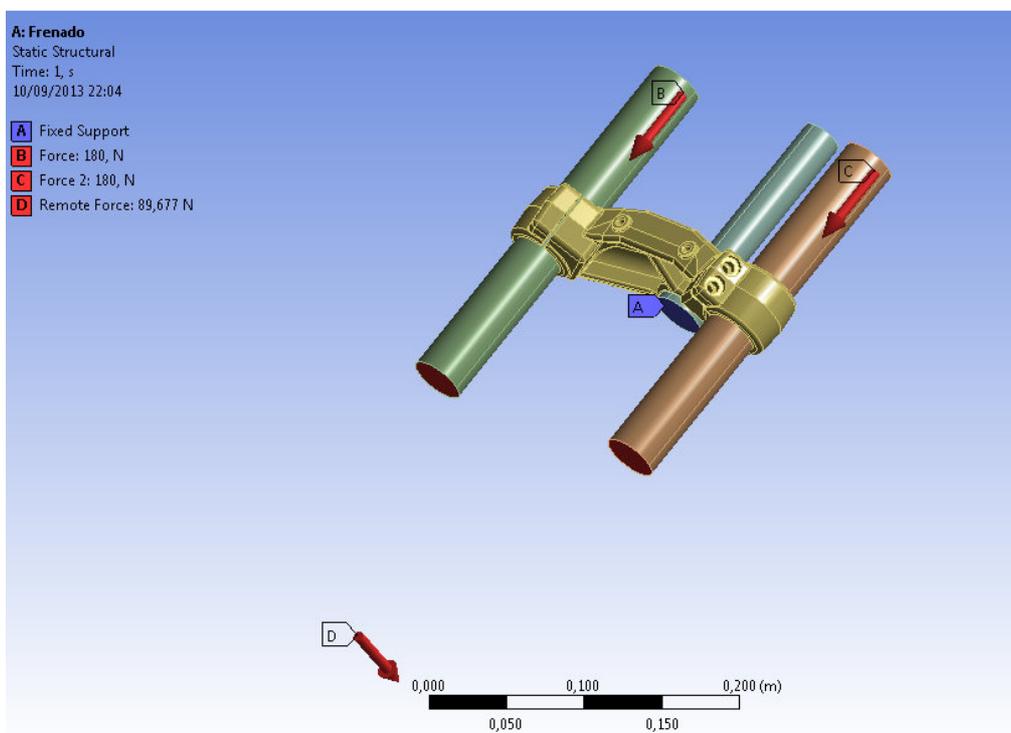


Fig. 4.34: Modelado de soportes y cargas para análisis de efectos durante el frenado.

Como se muestra en la Fig. 4.35, se presentan los valores de la fuerza aplicada en el punto externo de nuestro modelo asociado al ángulo de aplicación respecto al contacto de la rueda con el suelo.

Definition	
Type	Remote Force
Define By	Components
<input type="checkbox"/> X Component	0, N (ramped)
<input type="checkbox"/> Y Component	89, N (ramped)
<input type="checkbox"/> Z Component	11, N (ramped)
Suppressed	No
Behavior	Deformable
Advanced	
Pinball Region	All

Fig. 4.35: Valores nominales por componente de la fuerza remota aplicada.

Similar a nuestro modelo anterior, a continuación se presentan los valores obtenidos una vez realizada la simulación.

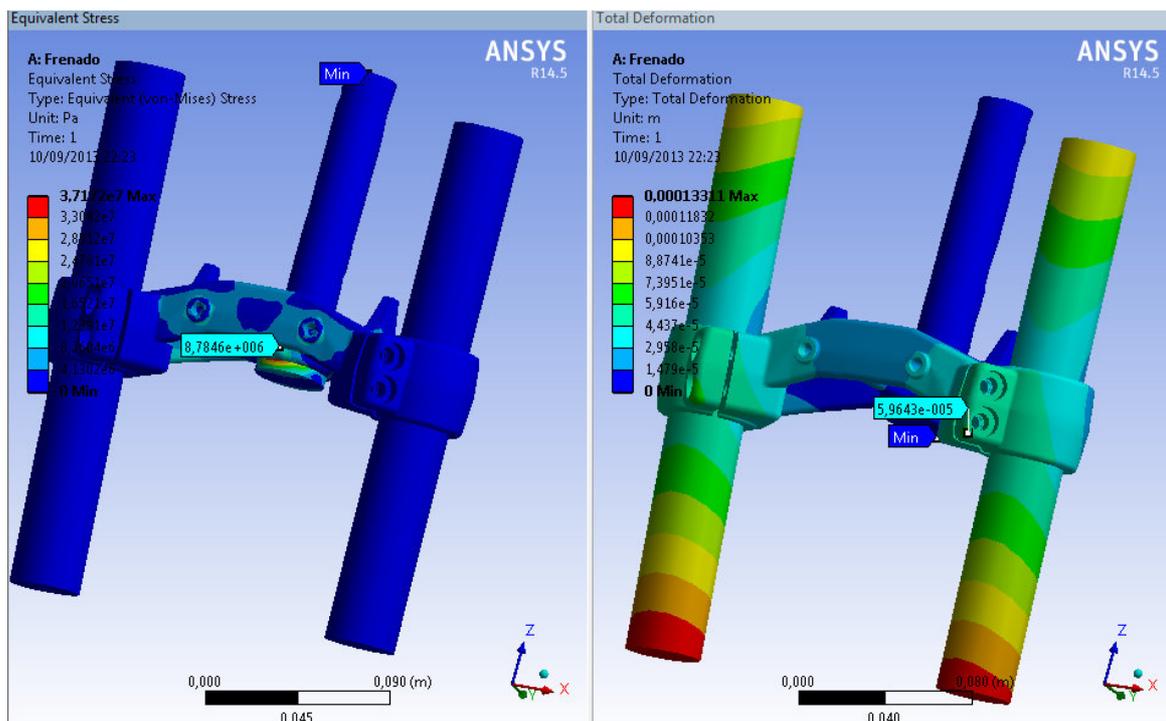


Fig.4.36: Análisis mecánicos resultantes para esfuerzos equivalentes y deformación de la tija inferior, durante la frenada.

Para este caso los esfuerzos equivalentes obtenidos corresponden a  $37 \text{ MPa}$  y una deformación máxima  $0,00013 \text{ m}$ , de igual manera al caso anterior nos encontramos por debajo del límite elástico, lo que garantiza un buen funcionamiento de la pieza. Adicionalmente la baja deformación garantiza la rigidez del sistema y la minimización de posibles efectos no deseados. Para finalizar se puede observar, en la Fig. 4.37, la manera en

que cada fuerza responde sobre el modelado generando torsiones respecto al eje de dirección y a los ejes centrales de las barras telescópicas.

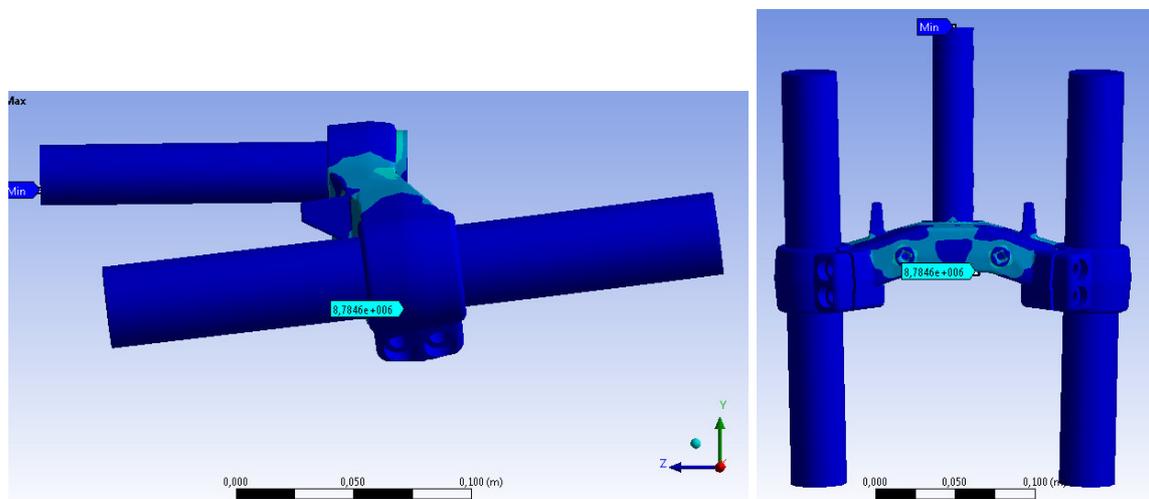


Fig.4.37: Efectos del momento y la fuerza sobre las barras en el modelo.

#### 4.5.3 Simulación para condición en presencia de irregularidades en curva.

Teniendo en cuenta que los efectos de frenada y de irregularidades representan los mayores puntos de análisis, y considerando que la composición de este sistema se puede conformar con modelados similares a los anteriores, no se generó el estudio correspondiente, ya que los resultados obtenidos anteriormente garantizan la plena función de nuestro modelo 3D.

#### 4.6 Análisis del proceso de fabricación

Partiendo de los análisis antes realizados para nuestra tija, se procedió a definir las condiciones y metodología de elaboración de la pieza. Como se planteó en secciones anteriores, el proceso por el cual es llevado a cabo nuestro modelo es mediante la forja de material.

Teniendo en cuenta el proceso de conformación de nuestra pieza, se observan ciertas secciones en las que se requieren procesos posteriores para completar la geometría final. En principio, el proceso final requerido constituiría el mecanizado de aquellas partes en las que el forjado implicara dificultades para su procesamiento. Para esta pieza las principales secciones que requieren un mecanizado posterior son las cavidades de soporte para la viga principal y las barras telescópicas. De igual manera las secciones para el apriete de las

barras telescópicas y los taladrados frontales de nuestra pieza deben realizarse una vez se obtenga el modelo general.

Estas consideraciones son requeridas antes del forjado, ya que de esta manera se podrá establecer la forma la matriz. Para el conformado de la tija se necesita el empleo de un molde (formado por dos mitades: matriz superior e inferior. El cierre de las dos matrices sobre el material en bruto dará la forma final a la pieza: la tija.

Se siguen las recomendaciones de la norma UNE-EN 586 - 2002 para forjado de aluminio. Como se mencionó anteriormente, esta norma, en sus tres secciones, nos permite aplicar los criterios fundamentales y necesarios para poder definir las condiciones necesarias y de esta manera garantizar que el proceso se lleva a cabo de forma correcta.

Con esto en cuenta la definición parcial de nuestro modelo de tija requiere ciertas etapas de análisis. La definición y estudio del procesamiento requiere definir la matriz con la que se va procesar nuestro material, pudiendo modelar, bajo sistemas CAE, el comportamiento durante la forja. El uso de plataformas como Simufact Forming, nos permite estudiar las condiciones y análisis de elementos finitos implicados en la forja, mostrando el comportamiento del material y la complejidad de los requerimientos implicados en el proceso.

#### **4.6.1 Modelado de matrices para forja**

Para realizar la matriz necesaria en la forja, inicialmente se modificó el modelo 3D empleado en los análisis anteriores. Ciertas secciones fueron removidas ya que durante el proceso de forja resulta difícil llevar a cabo la confección completa de la pieza, el forjado tiene sus limitaciones geométricas. De igual manera, ciertas secciones requieren procesos posteriores procesados para garantizar un correcto acabado y dimensiones.

Para llevar a cabo el modelo a emplear se empleó la plataforma de Creo 2.0 para generar la referencia parcial de la pieza. Para esto se modificaron las partes en las que, por procesos de mecanizado posteriores, se obtendría la geometría, eliminando de nuestro modelo aquellas partes donde resultaría engorroso aplicar el proceso de forjado.

Las partes suprimidas, como se puede observar en la Fig 4.38, fueron las marcadas en rojo, facilitando la realización del proceso de forja al eliminar geometrías complicadas y orientadas desfavorablemente al flujo que seguirá el material.

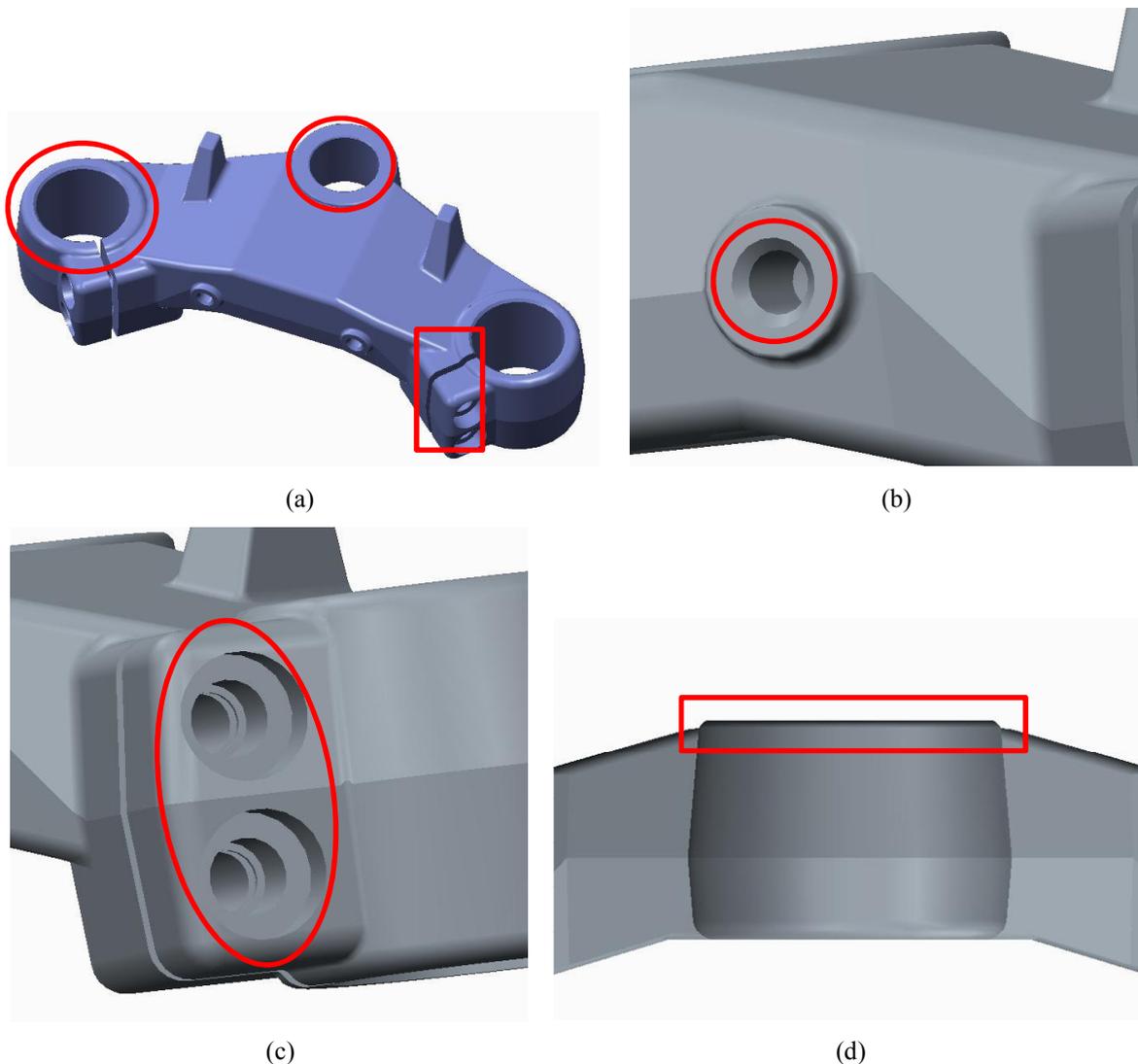


Fig. 4.38: Modificaciones generales sobre modelado 3D final de la tija (a) remoción de taladrados principales y sección de apriete; (b) remoción de taladrados frontales; (c) remoción de cavidades de tornillos y (d) extensión de superficie de apoyo de eje central.

Cada modificación se corresponde con una geometría suprimida; como se observa en las partes (a), (b) y (c) de la figura 4.11. A continuación, Fig. 4.39 se presenta el modelo final de la pieza.

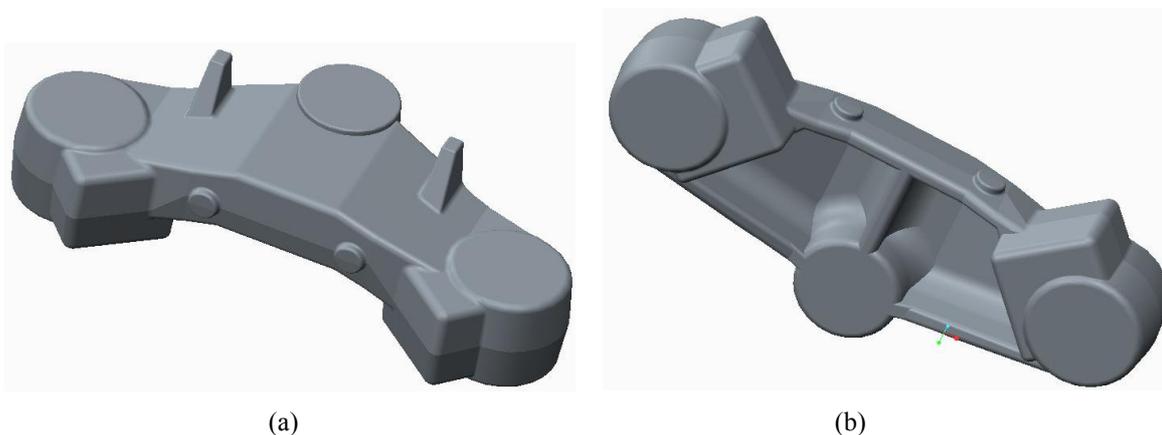


Fig. 4.39: Forma general de la tija inferior para el modelado de la matriz de forja.

Como se observa en la sección (d) mostrada en la Fig. 4.38 (representa la sección de apoyo del soporte del eje principal), se requiere un alisado superficial, lo que implicará el mecanizado de esta sección, por esto, en nuestro modelo de matriz, se extendió  $1\text{mm}$  la superficie respecto al plano final requerido. Para esto, como se observa en la Fig. 4.40, la superficie se extendió, observándose un saliente más acentuado.

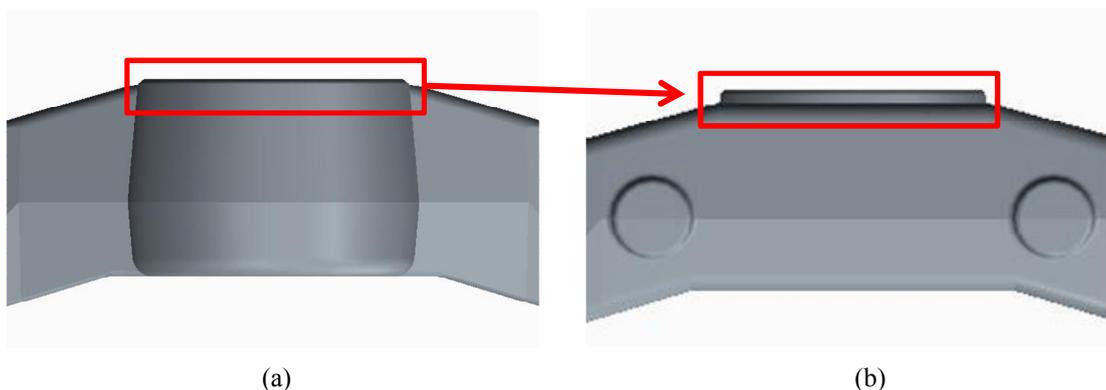


Fig. 4.40: Superficie de apoyo de eje principal modificada (a) sin extensión y (b) extendida  $1\text{mm}$ .

Terminadas las modificaciones correspondientes a la pieza final, se procedió a definir la matriz fundamental para el forjado de la pieza. Dentro del software Creo 2.0 se empleó el módulo de diseño de moldes. La cavidad entre el par de matrices finales está diseñada para ser tan estrecha como sea posible respecto al tamaño nominal del producto.

Las esquinas agudas, como se planteó anteriormente, requieren presiones muy altas durante la forja para poder garantizar completamente el llenado. El incremento de tales presiones no son bien toleradas por la matriz, requiriendo ciertas modificaciones de las características del tipo de matriz empleada. En principio, las cavidades se hacen ligeramente más grandes, controlando las medidas nominales y requerimientos de la pieza. Definido un "grado de llenado", el cual corresponde a la relación en que nuestra matriz es

cubierta totalmente por el material, se necesita contemplar la aparición de rebabas, flashes para controlar ligeramente la manera en que se llenan las secciones más complicadas.

Las variaciones en el volumen de la pieza en bruto, que se incorpora en la matriz, debe controlarse teniendo en cuenta las tolerancias y las compensaciones agregadas al considerar los flashes, garantizando una adecuada distribución del volumen de material en la pieza.

Otro aspecto considerado, es el adecuado uso de los modelos de material en bruto. Este aspecto, referente al procesamiento general de nuestra pieza, juega un papel importante en la minimización de material en uso y una mejor distribución del material en la matriz. Durante el análisis por simufact forming se busca garantizar el llenado de la pieza, una manera de lograr esto es modificando la estructura general del bruto, pudiendo de esta manera definir el modelo más adecuado a emplear.

Teniendo en consideración estos principios, se modelaron la matriz superior e inferior para la pieza. Definida nuestra geometría general se exportó nuestro modelo a un nuevo proyecto en Creo en el que nuestra pieza se convirtiera en el modelo de referencia. La dirección de apertura se estableció acorde al ángulo de desmoldeo conferido a la pieza. Realizadas estas restricciones, se asignó la pieza de trabajo, la cual constituye la forma general del molde en macizo.

Como se observa a continuación, Fig. 4.41, se relacionan los modelos de la tija de referencia junto a la base general del material en bruto del molde de forja.

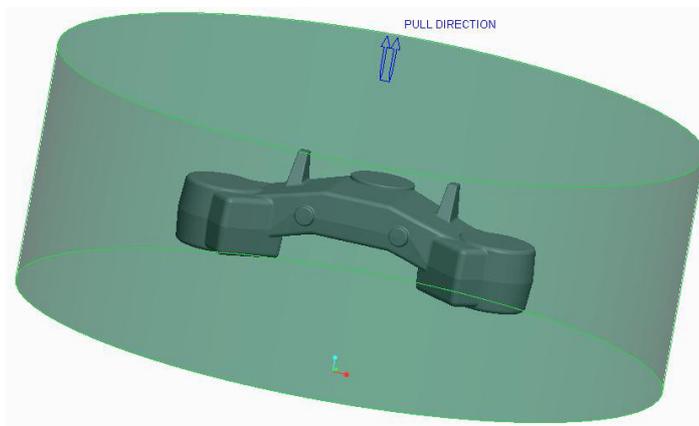


Fig. 4.41: Solapamiento de modelado 3D de la tija inferior con la base geométrica de la matriz.

Acto seguido se procedió a remover el modelo de referencia, consiguiendo el vaciado de la cavidad, teniendo como resultado la imagen mostrada a continuación, Fig. 4.42, donde se aprecia que falta la sección correspondiente al modelo de tija inferior que se definió dentro de la estructura.

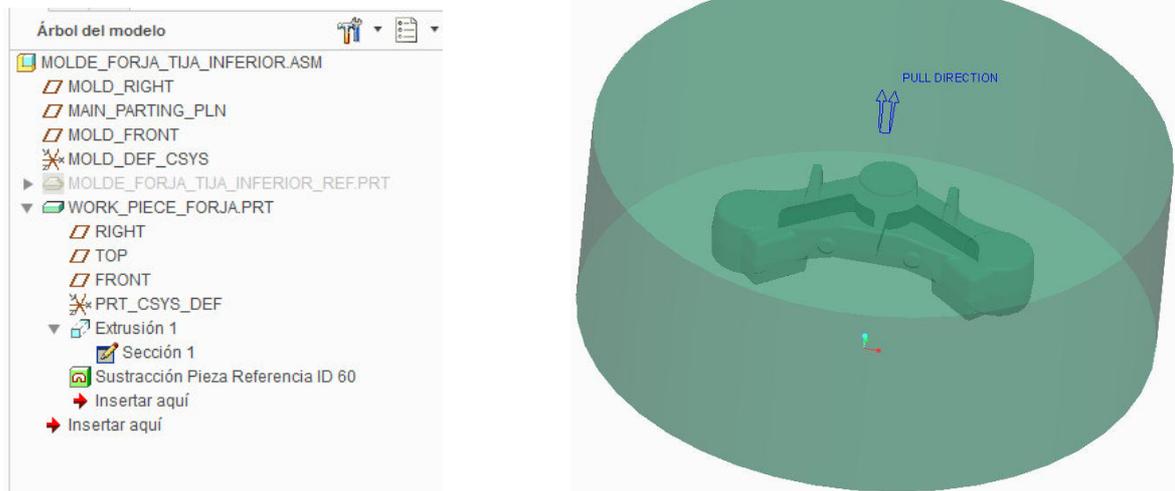


Fig. 4.42: Eliminación del modelado geométrico de la tija inferior.

Como se puede observar nuestra conformación parcial de la matriz se encuentra generada, constituyendo nuestro modelo; aspecto fundamental a tomar en cuenta se corresponde a la definición de la línea de partición. Esta línea de partición representa la apertura de nuestro molde, para esto se definió un plano por el cual se dividirían las matrices del molde general como se puede ver a continuación, Fig4.43.

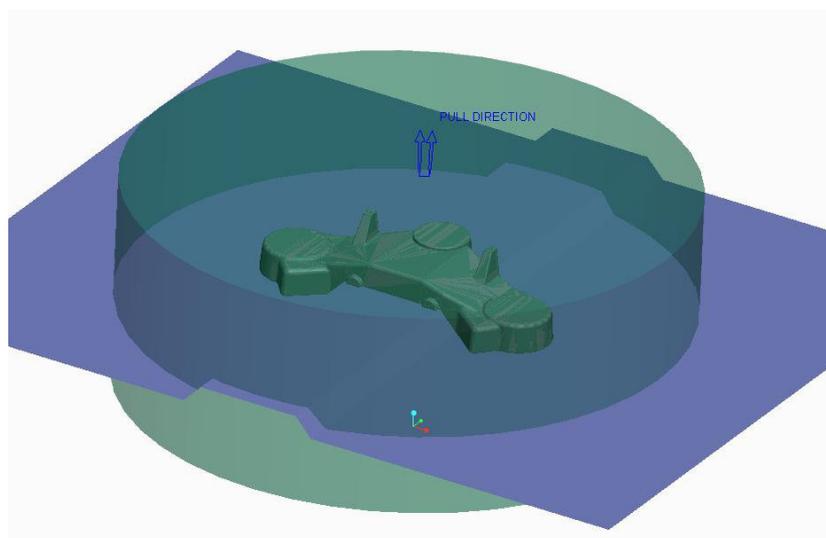


Fig. 4.43: Definición de la línea de partición de la matriz de forja para la tija inferior.

Otro aspecto fundamental a considerar son los efectos térmicos de nuestro sistema. En principio para garantizar una plena funcionalidad se deben considerar las relaciones de dilatación del material a forjar, las cuales implican un efecto directo sobre las medidas nominales a tener en cuenta una vez el material se enfríe. Por esta razón, en función del material seleccionado, se define un coeficiente de contracción, mediante este valor se incrementó el tamaño de la cavidad.

Para el material que hemos seleccionado el coeficiente de contracción del material responde a dos condiciones, una se corresponde a la contracción del material fundido y la otra al coeficiente de contracción en sólido. Para las aleaciones de aluminio el coeficiente correspondiente es de 0,05 respecto al volumen, con esto se definió el ajuste de la medida nominal de nuestra pieza (La cavidad).

A fin de visualizar el aumento de la cavidad, a continuación en la figura 4.44, se muestra el efecto sobre la dimensión de la pieza final, presentando una variación de tamaño entre la matriz y la pieza de referencia de la Fig- 4.39

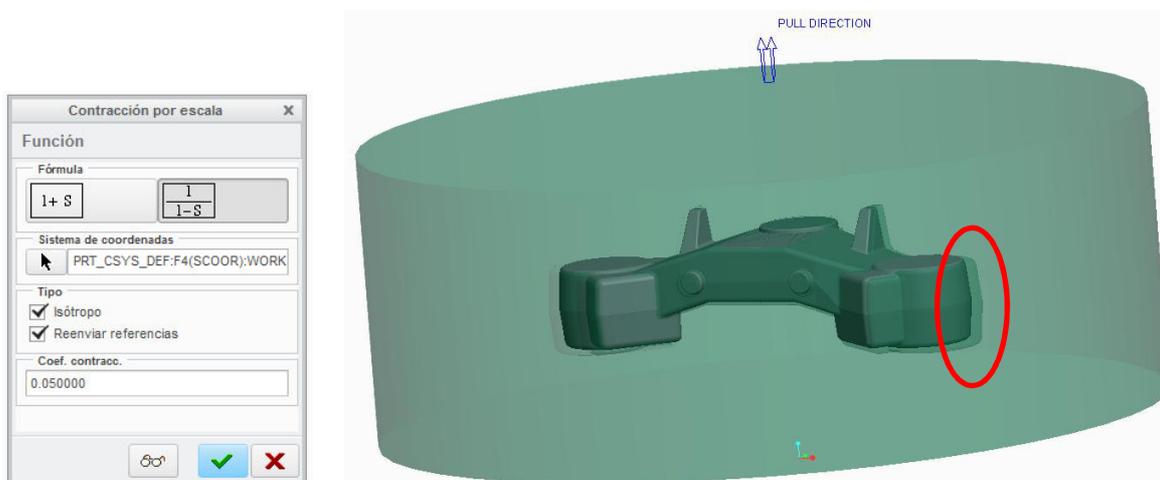


Fig. 4.44: Incremento de la medida geométrica respecto a la contracción del material.

Con el modelo modificado, se dividió la pieza de trabajo en las dos matrices necesarias. Se seccionó la pieza trabajada definiendo como línea de partición el plano anteriormente generado. Cabe destacar que una vez se aplica el módulo que permite la división de nuestro modelo, es requerido asignar las secciones que compondrán la forma del sólido, por esto como se muestra en la Fig. 4.45 se muestra la selección de la cavidad general a definir.

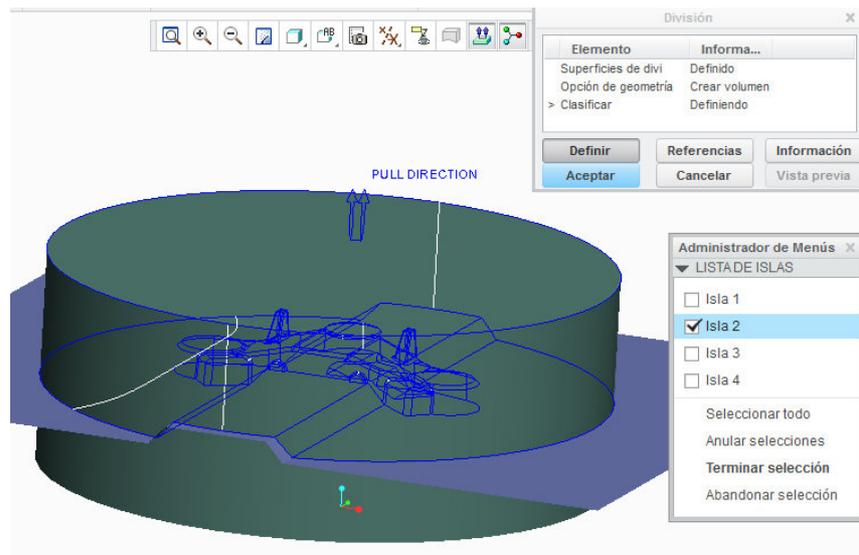


Fig. 4.45: Seccionado de matrices mediante el módulo de molde en Creo 2.0

Una vez dividido el molde e identificadas las partes correspondientes a cada una de las secciones se dispone de la matriz superior, Fig. 4.46 (a), e inferior Fig. 4.46 (b)

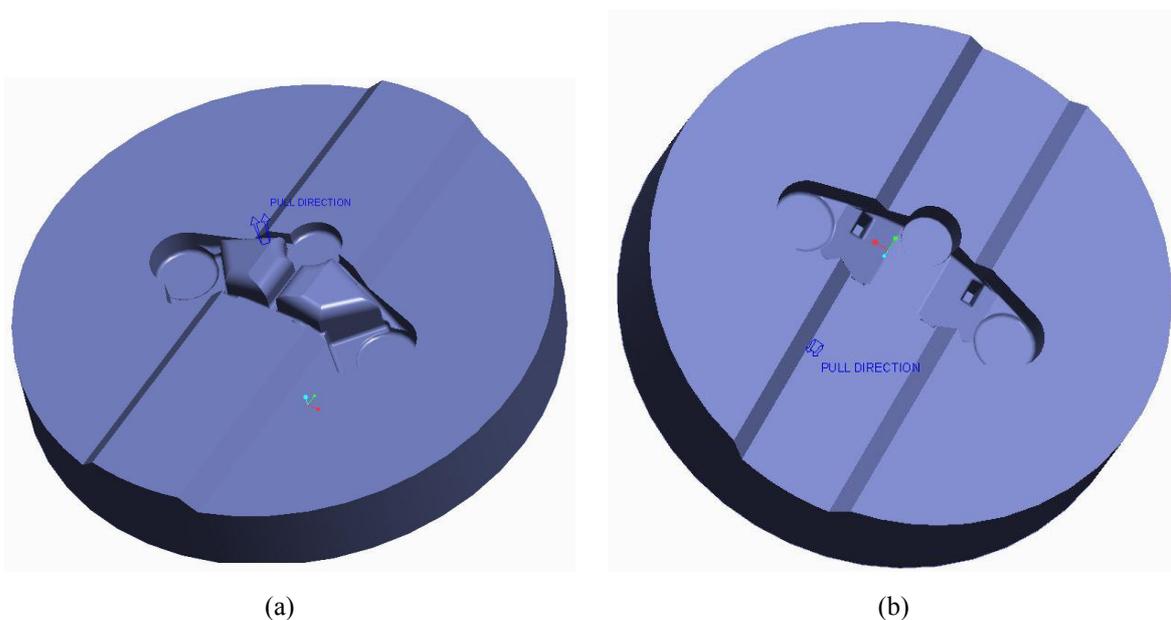


Fig. 4.46: Matrices de forja (a) Superior y (b) Inferior

Para llevar a cabo el análisis en Simufact Forming se transfirieron en formato .step los modelos para cada una de las matrices.

#### 4.7.2 Modelado de proceso de forja

Definidas las matrices, el siguiente paso para complementar la fabricación de nuestra pieza comprende la simulación del proceso. Se realizó la simulación del proceso bajo la

plataforma “Simufact forming”. Una vez dentro de la plataforma, la definición de cada uno de los parámetros requeridos para la simulación se va incorporando, lo que permite estructurar el proceso fácilmente. El primer aspecto a definir se corresponde a la definición del proceso a simular.

Para nuestro caso la selección se hizo para el modelo de forjado con flash; se debe notar que nuestras matrices no poseen dichas secciones, sin embargo a fin de realizar un ajuste de nuestro sistema y observar el progreso de las simulaciones se mantuvo la condición establecida, haciendo selección del parámetro como se muestra en la Fig.4.47.

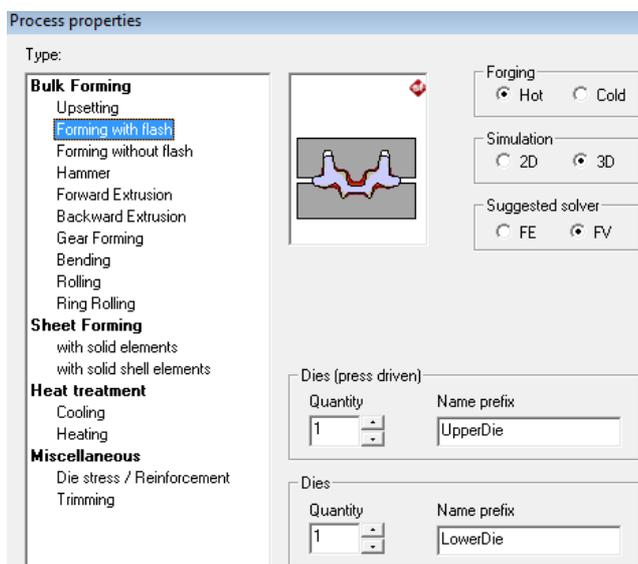


Fig. 4.47: Definición y selección del proceso de forja.

Pese a que este modelo no incorpora los flashes correspondientes al desahogo del material, la función en estudio se evaluó con estas condiciones a fin de comparar los resultados una vez se incorporen y se complete el modelo real de la pieza.

Continuando con la definición de las condiciones de nuestro sistema, entra en consideración un aspecto fundamental del proceso de forja: la geometría de la pieza a forjar. Parte fundamental de nuestro sistema se centra en una buena distribución del material a lo largo del molde garantizando un buen llenado de toda la cavidad, dos maneras de controlar este efecto se basan en la incorporación de flashes de distintas medidas en la línea de partición de nuestras matrices o en la modificación de dicha forma general de nuestro material en bruto.

Una manera adecuada de llevar a cabo este modelado es considerando los procesos previos a los que se debe someter la pieza en bruto para garantizar el llenado de la cavidad de nuestra matriz, para esto se debe modificar la geometría del material de partida concentrando la mayor cantidad de material en las zonas en las que la estructura de nuestra pieza posee mayor espesor.

A fin de poder modelar nuestra pieza y aproximar los requerimientos para garantizar el llenado de la cavidad, mediante la plataforma Creo 2.0, se realizó un modelo general de una pieza de trabajo ajustada a la geometría que describe la tija.

A fin de poder aproximar la medida general de nuestra pieza (bruto o material de partida), a partir del modelo de tija anteriormente generado, se definió el volumen de material de la misma, teniendo como resultado el volumen mostrado a continuación, Fig. 4.48.

$$V = 3,48641 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

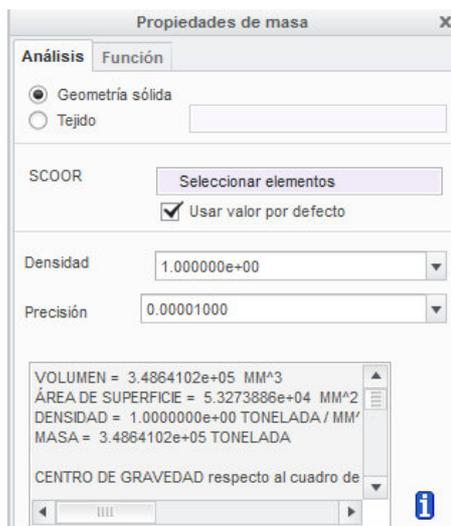


Fig. 4.48: Relaciones físicas del modelado 3D de la tija inferior.

Empleando la geometría de la matriz superior y teniendo en cuenta el volumen asignado a nuestra pieza se modeló el material a forjar. Inicialmente teniendo en consideración los proveedores de materiales y la forma en que se distribuye nuestra pieza, se tomó un tocho de sección circular y de diámetro  $50 \text{ mm}$ . Basado en cálculos geométricos se definió una longitud adecuada para garantizar el llenado de la cavidad.

$$V_{pieza} = V_{tocho} = \pi \cdot r_{tocho}^2 \cdot L_{tocho} \Rightarrow 348641 = \pi \cdot (25)^2 \cdot L_{tocho} \Rightarrow L_{tocho} \approx 177 \text{ mm}$$

Considerando la presencia de los flashes en nuestra matriz se superara el valor mínimo de material requerido para garantizar el llenado. Se generó un boceto sobre la matriz para aproximar la posición de nuestro modelo de material y el doblado requerido en la pieza para facilitar la fluencia del material durante la forja. Cabe destacar que la forma asignada representa un modelo general, a fin de ajustar la medida y posición necesaria para obtener la pieza forjada, para luego realizar los mecanizados correspondientes para obtener la pieza final. Cabe indicar que las superficies deben ser mecanizadas después del forjado para obtener un mejor acabado superficial, y para eliminar las incrustaciones causadas por el calor de la forja, entre otros efectos.

Para poder adecuar el modelo del material en bruto sobre nuestra matriz, partiendo del punto de apoyo del material, se generó un esbozo, representado en la Fig 4.49, a fin de definir la conformación general del material de partida, garantizando un llenado más adecuado que al hacer uso de una pieza recta.

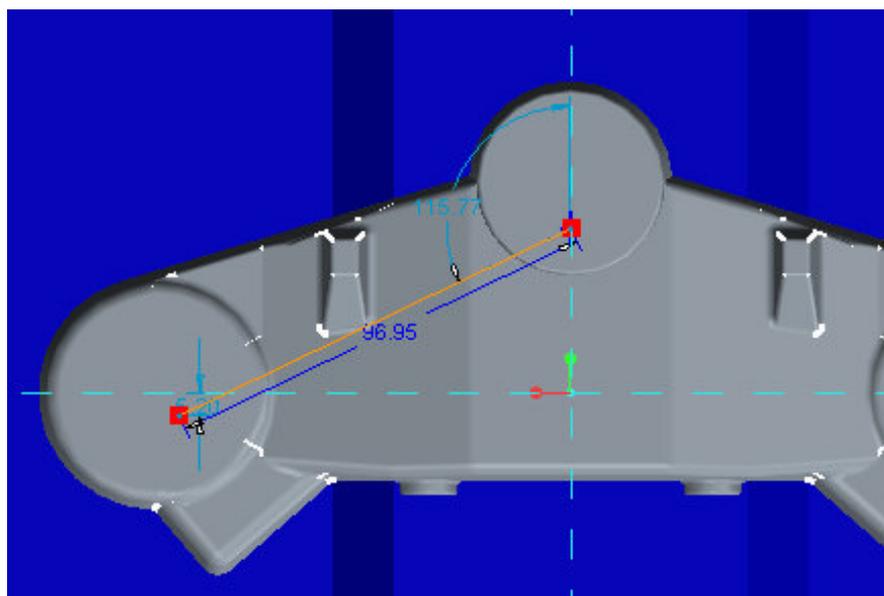


Fig. 4.49: Definición de contorno para material bruto respecto a la matriz.

Con el esbozo general, y teniendo en cuenta que nuestra pieza requirió el doblado de la geometría principal, se llevó a cabo la extrusión del material de partida, obteniendo el modelo mostrado a continuación, Fig. 4.50.

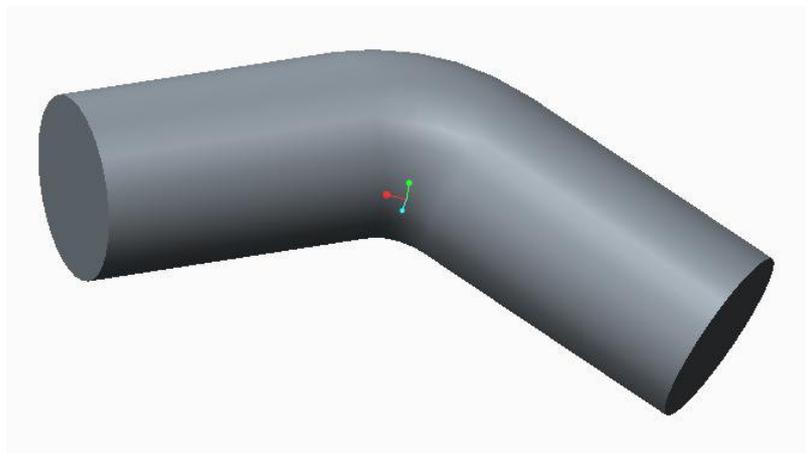


Fig. 4.50: Modelo de material en bruto 1.

De igual manera a los modelos generados para nuestras matrices, la pieza a forjar se convirtió a un formato “step”, para luego incorporarlo dentro de la plataforma de simulación de “Simufact Forming”. Definidas las tres partes fundamentales de nuestro sistema (matriz superior, matriz inferior y la pieza de trabajo) se procedió a realizar el análisis correspondiente a la forja, para esto se cargaron dentro de la aplicación las tres geometrías Fig. 4.51.

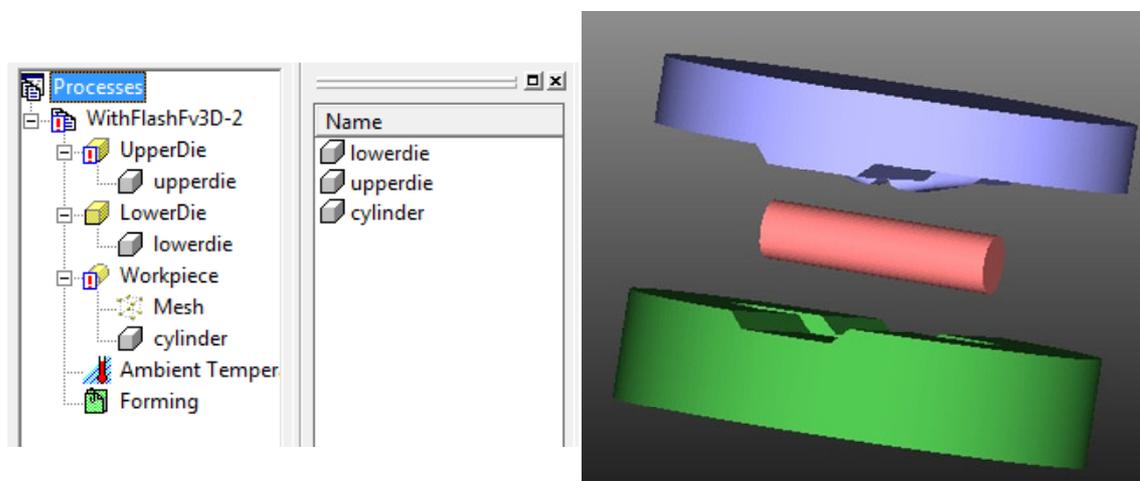


Fig. 4.51: Incorporación de las matrices, en morado y verde, y la pieza de trabajo, color rosáceo.

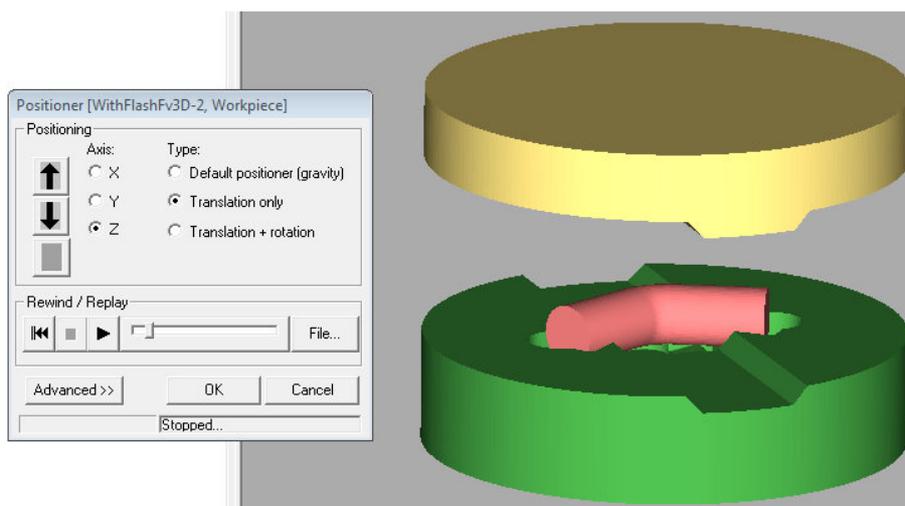
Una vez cargados los modelos de cada una de las partes requeridas para la simulación de forja se definieron los distintos parámetros mecánicos para realizar el análisis correspondiente. Los parámetros a definir en el análisis general se centraron en bases generadas por el software, (las temperaturas de procesamiento, las condiciones de las máquinas, el roce entre las matrices y la pieza de trabajo, entre otros), permitiendo simular

bajo modelos estándar, aproximando de esta manera el resultado a los modelos comúnmente empleados.

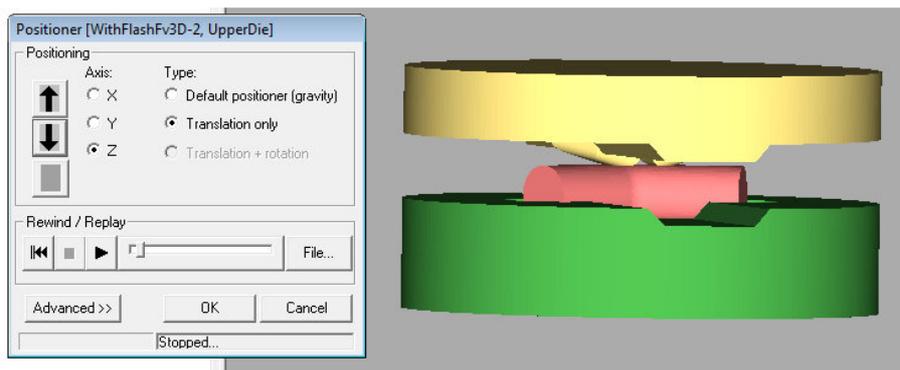
Considerando los requerimientos de materiales y su función general, se llevó a cabo sólo el modelado y comportamiento de la pieza en estudio, respecto a las matrices sólo se tomó en cuenta la geometría y las características mecánicas que cumplen sin considerar los efectos que se generan sobre estas, tales como el desgaste de las cavidades, efectos de pandeo, desplazamientos de los centros, entre otros.

Para llevar a cabo el estudio, inicialmente se alinearon las geometrías y se posicionaron cada una de las partes (matrices y bruto), así como la manera en que estos se comportan, una vez definida la máquina y la interacción entre las distintas partes del sistema de forja. Aproximando y definiendo el movimiento de las piezas el resultado y acople final de las matrices con el material en bruto se muestra a continuación.

Para garantizar el funcionamiento de esto, se posicionaron cada una de las piezas, definiendo con esto la manera en que las piezas se desplazan y se ubican entre sí, así como también se dan los movimientos correspondientes a cada una de las partes que accionan durante el proceso de forja. A continuación en la figura 4.52 (a) se muestra el posicionado de la pieza de trabajo sobre la matriz inferior, mientras que en la Fig. 4.52 (b) se posiciona la matriz superior sobre la pieza a trabajar.



(a)



(b)

Fig. 4.52: Posicionado de la matriz y la pieza de trabajo (a) posicionado de pieza de trabajo y (b) posicionado de matriz superior.

Seleccionado el material se definieron las distintas propiedades requeridas, Fig.4.53. Los valores usados fueron definidos mediante el catálogo proveniente del software CES empleado anteriormente. Los valores que no fueron reportados en el catálogo del CES se definieron a partir de los valores teóricos procedentes de catálogos de los suministradores.

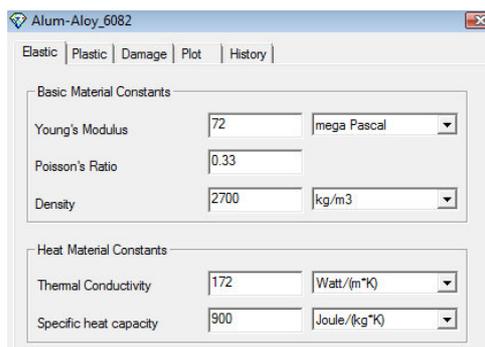
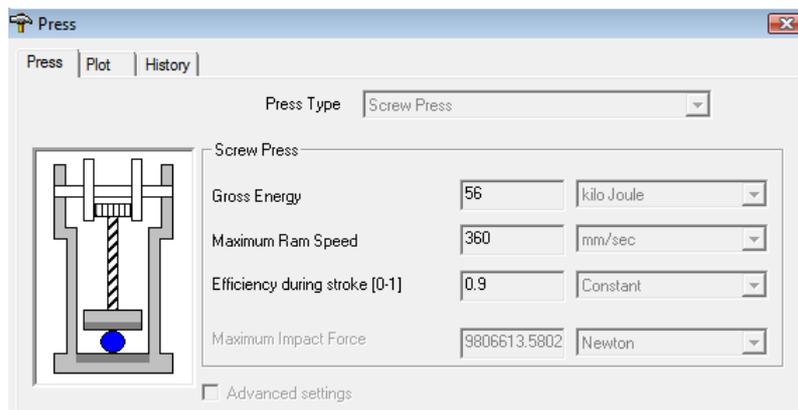


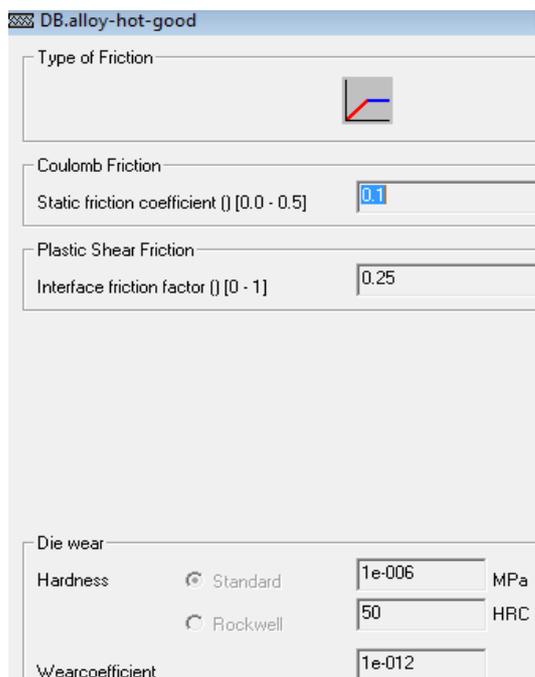
Fig. 4.53: Definición de propiedades mecánicas del aluminio EN-AW 6082 T6.

Ya establecidas las propiedades de nuestro modelo se definieron los parámetros de procesamiento requerido. Para llevar a cabo el modelo se tomaron los valores reportados en la librería de la plataforma (Simufact), en donde se definió la máquina, la fricción generada entre el material y la matriz y las temperaturas de procesamiento. Continuando con la selección y definición de condiciones, como se muestra en la figura 4.54, se definieron las condiciones de procesamiento requeridas para los simulados posteriores.

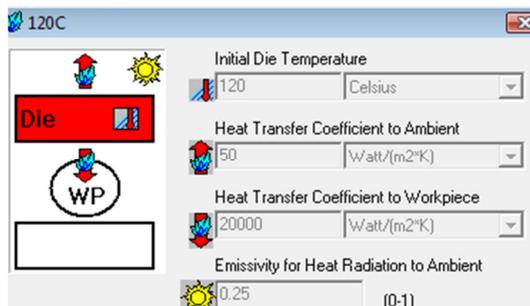
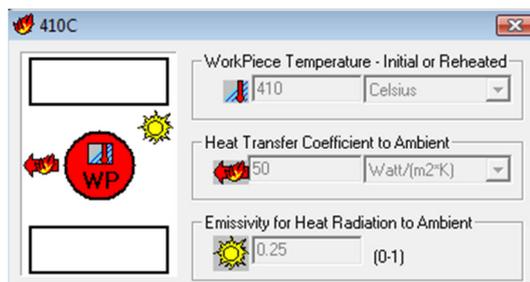
En la sección (a) se condicionó la máquina de tornillo a emplear para este tipo de forja, en la sección (b) se definieron las condiciones de roce entre la matriz y el material, definiendo las propiedades del lubricante que se emplean en estos proceso. Y en la sección (c) se asignaron las temperaturas de procesamiento requeridas para el material y para el molde.



(a)



(b)



(c)

Fig. 4.54: Definición de requerimientos para el proceso de forja (a) selección de máquina; (b) definición de fricción y (c) temperaturas de procesamiento.

Con cada uno de estos parámetros se asignaron las funciones necesarias para llevar a cabo el desglose del árbol de procesos requerido para la definición y simulado de llenado de nuestra pieza, Fig 4.55.

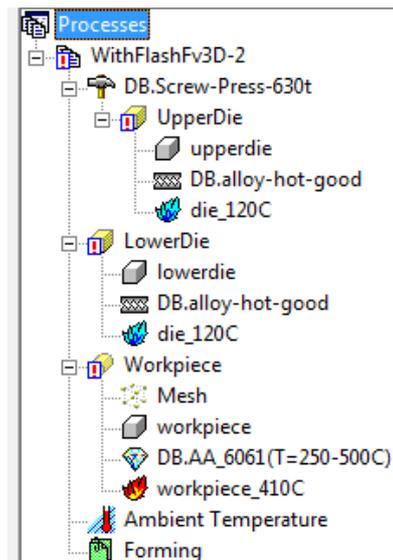


Fig. 4.55: Árbol de procesamiento para simulado de forja en caliente de matrices para tija inferior.

Considerando que nuestra pieza debe sellar completamente la cavidad, se definieron dos puntos opuestos, uno en cada matriz. De tal manera que la distancia establecida entre ellos se corresponde con la distancia a dejar entre ambas piezas (matrices), Fig. 4.56.

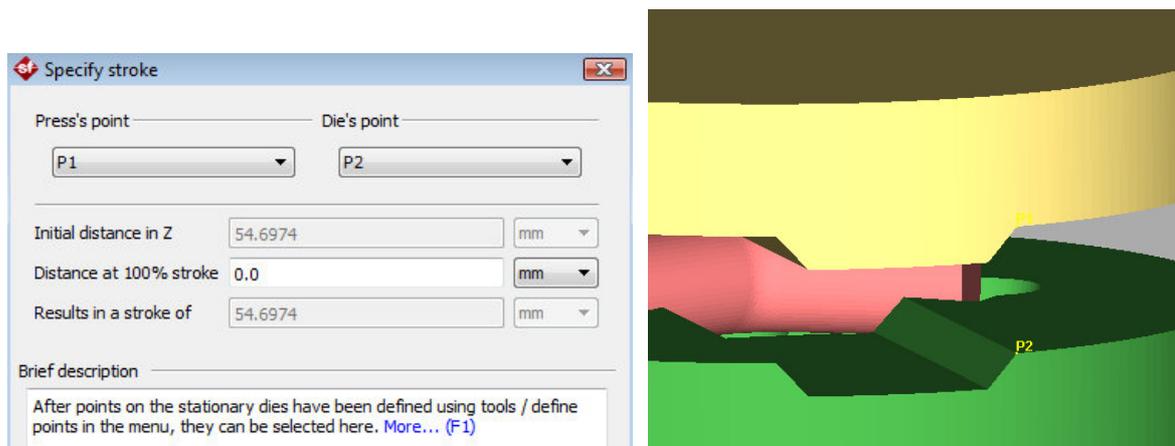


Fig. 4.56: Puntos de cierre entre matriz inferior y superior para el modelado de la tija.

Una vez simulado nuestro sistema se graficaron los modelos necesarios para estudiar el llenado y ajuste requerido. Para esto, dentro de los parámetros obtenidos, se observó el contacto del material con las matrices. Con estos resultados se determina si la conformación de la pieza se ajusta de manera adecuada, determinando que zonas requieren de una modificación para obtener la pieza completa. Otro aspecto a incorporar son en las presiones implicadas, a partir de éstas se establecerán los requerimientos mecánicos a soportar por la pieza y las características de la matriz para soportar las presiones aplicadas (aspectos estudiado más adelante).

Respecto al contacto del material con la matriz se obtuvo el resultado mostrado a continuación, Fig. 4.57

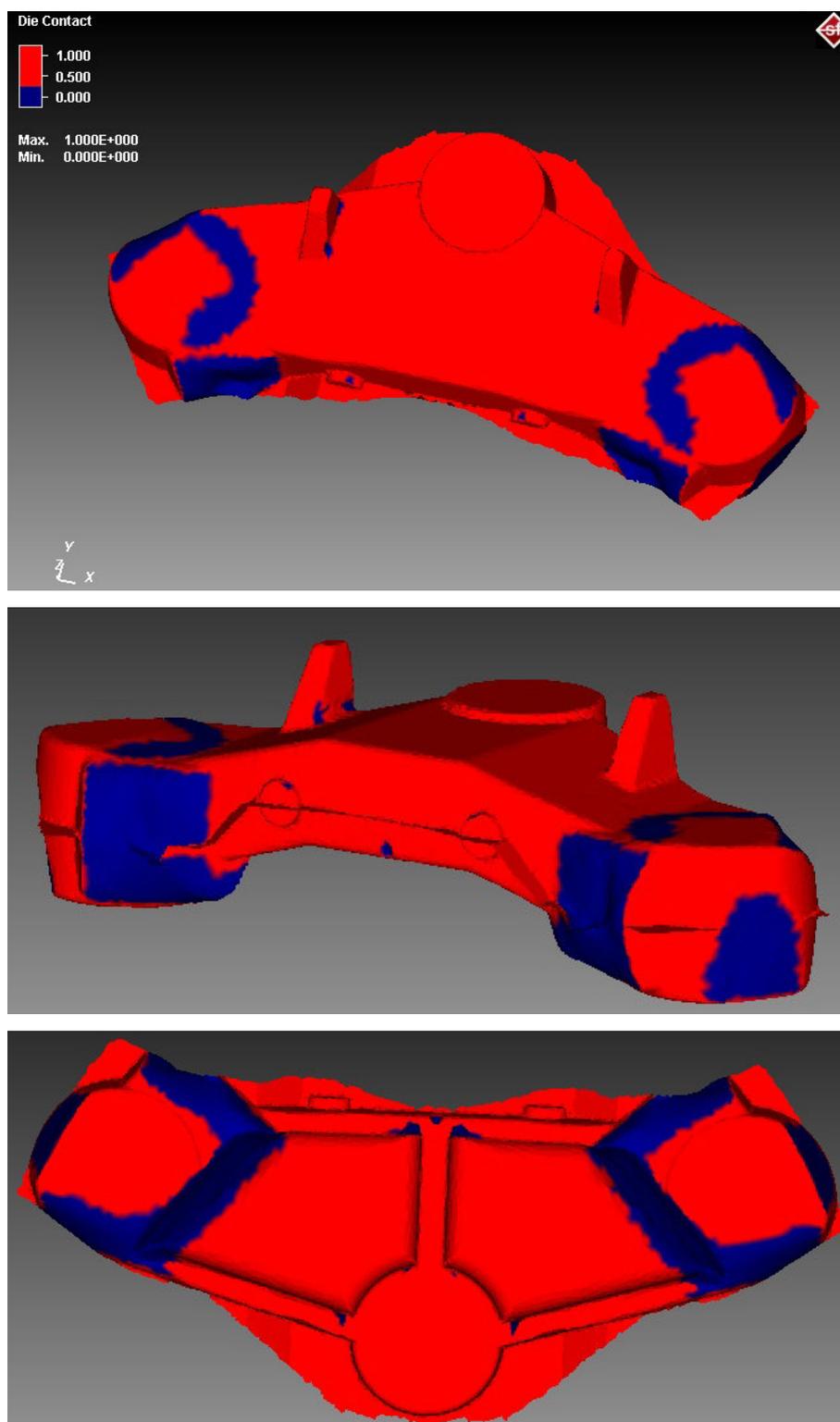


Fig. 4.57: Contacto de material y matriz en la primera simulación de forja en caliente.

Como se puede observar en la Fig.4.57 el llenado alcanzado se ajusta en buena medida a nuestra pieza, sin embargo las zonas denotadas con el color azul representan partes en las

que no existe contacto con las matrices. Esta situación impone la necesidad de modificación de nuestros modelos, bien sea incorporando algún saliente en la estructura principal, incorporando más material o modificando la forma del mismo.

Estos tres aspectos implican distintas consideraciones a tener en cuenta durante el procesamiento. A fin de simular nuestro modelo se realizó la modificación de la geometría de la matriz, para esto se incorporaron unos salientes en las secciones donde se posicionan la barras telescópicas. Debido a esto el material logra fluir más, alcanzando las zonas que no se llenaron. La posición de los salientes correspondientes se incorporaría en la cavidad superior de nuestra matriz como se muestra a continuación, Fig. 4.58.

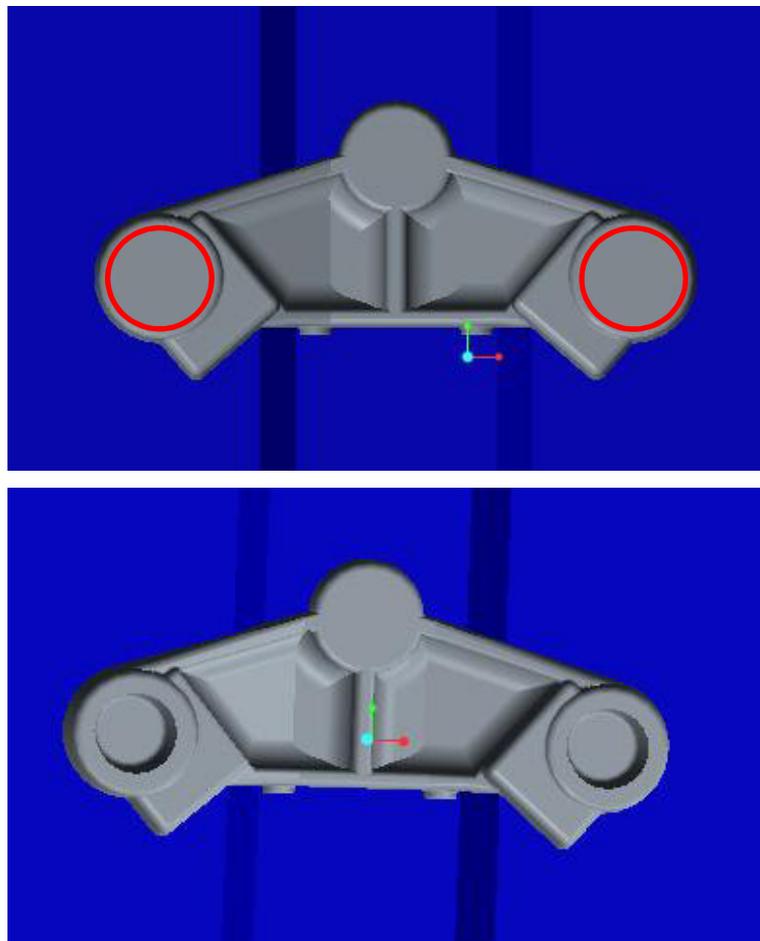


Fig. 4.58: Incorporación de salientes para el llenado y modificado de la estructura base durante la forja.

Modificada la geometría de nuestra matriz superior se evaluó nuevamente el comportamiento de nuestro modelo, teniendo como resultado la simulación mostrada en la Fig. 4.59.

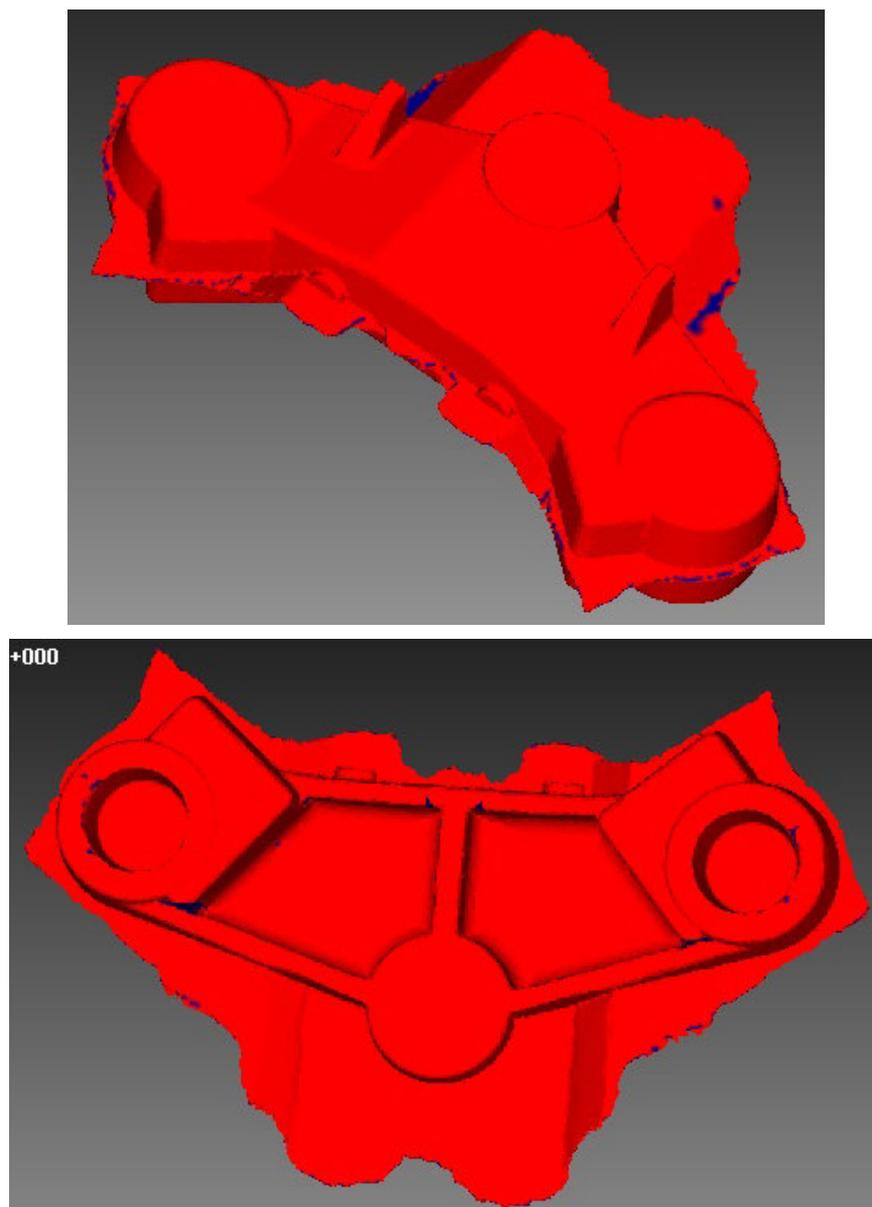


Fig. 4.59: Contacto de material y matriz en la segunda simulación de forja en caliente.

Como se puede observar en la Fig. 4.59 la incorporación de estos salientes permite alcanzar un mejor llenado de nuestra pieza. Mediante esta acción podemos alcanzar un mejor resultado sin necesidad de incorporar mayor cantidad de material, lo cual reduciría parcialmente los costos implicados, pudiendo obtenerse mejores propiedades mecánicas. Otro aspecto fundamental que se observa en nuestro proceso es la interacción de dos frentes de flujos, Fig. 4.60. La mayor complicación asociada a esto es que el material en este punto no se comporta uniformemente, lo cual minimiza la resistencia mecánica de nuestra pieza bajo condiciones reales.

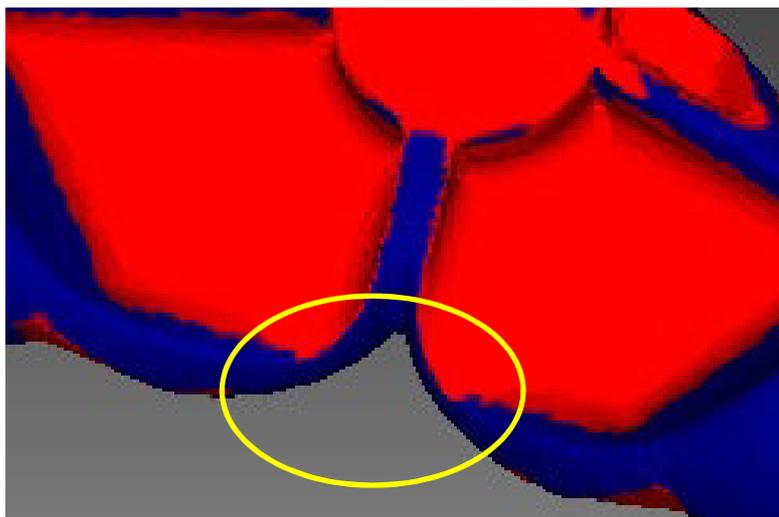


Fig. 4.60: Generación de contacto de frentes de flujos durante el proceso de forja en caliente.

Para solventar esto se modificó la geometría del material en bruto. Como en secciones anteriores el contorno se realizó modelando la pieza sobre nuestra matriz. En base a esto, y observando la manera en que el material se comportó en las simulaciones, la línea de contorno se ajustó de manera que el material, al someterse a las presiones de deformación, fluyera paralelamente a esa sección de la matriz. Para lograrlo, la forma del material a forjar (bruto de partida) se ajustó a la geometría mostrada a continuación, Fig. 4.61.

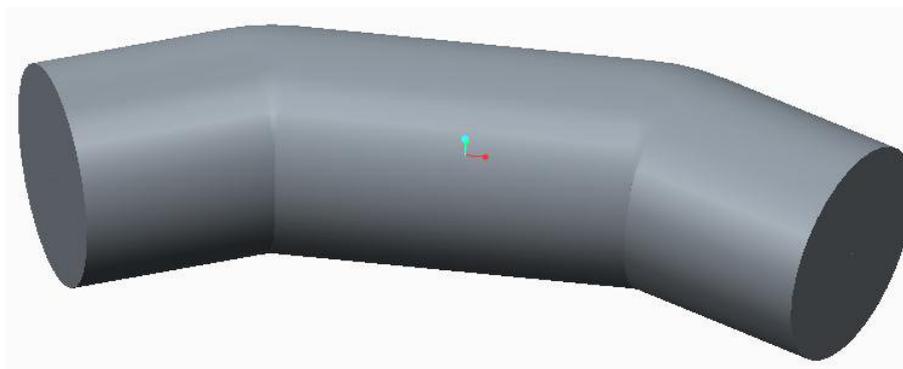


Fig. 4.61: Modelo de material en bruto 2.

Modificada la geometría, se simularon las nuevas condiciones de forja, analizándose el llenado. El comportamiento obtenido para este nuevo modelado se muestra a continuación, Fig. 4.62, donde puede verse como el frente de flujo en comparación con el anterior desaparece, eliminando de esta manera la presencia de líneas de soldadura que constituyan puntos de fallo.

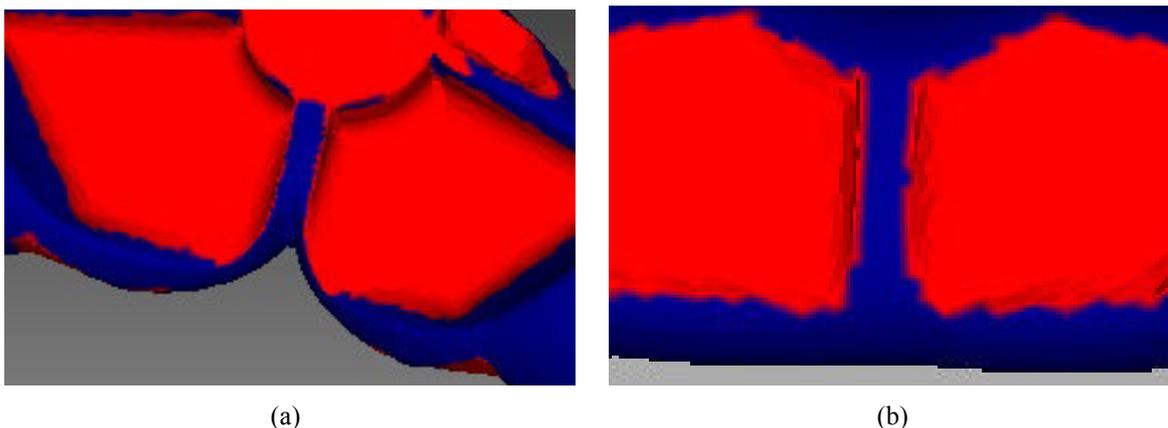


Fig. 4.62: Análisis de frentes de flujos durante el proceso de forja en caliente (a) modelado inicial con bruto 1 y (b) modelado modificado con bruto 2.

Al modificar la pieza también se logra alcanzar una mejora en la reducción de rebarba, obteniendo el comportamiento mostrado en la Fig. 4.63.

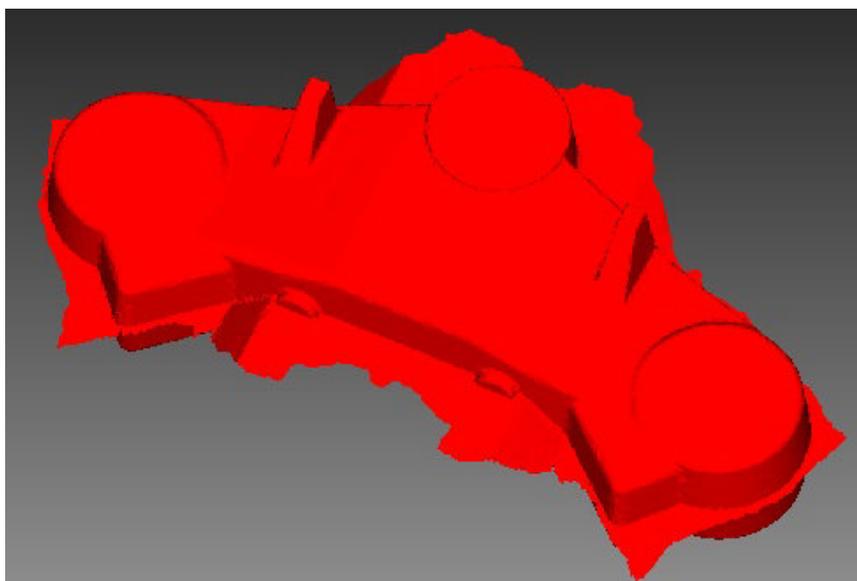


Fig. 4.63: Contacto de material y matriz en la tercera simulación de forja en caliente.

Uno de los requerimientos a cumplir, fue la incorporación de flashes en las secciones donde los requerimientos de presión y de flujo del material se concentran. Partiendo de los modelados obtenidos se procedió a definir unas zonas de desahogo del material (basadas en las superficies de contacto por donde el material fluye). La presencia de rebarbas en las zonas donde se da el cierre genera una pérdida bastante elevada de las presiones aplicadas, lo cual reduce las fuerzas aplicadas durante la deformación del material pudiendo ocasionar que las cavidades de nuestra pieza no se llenen.

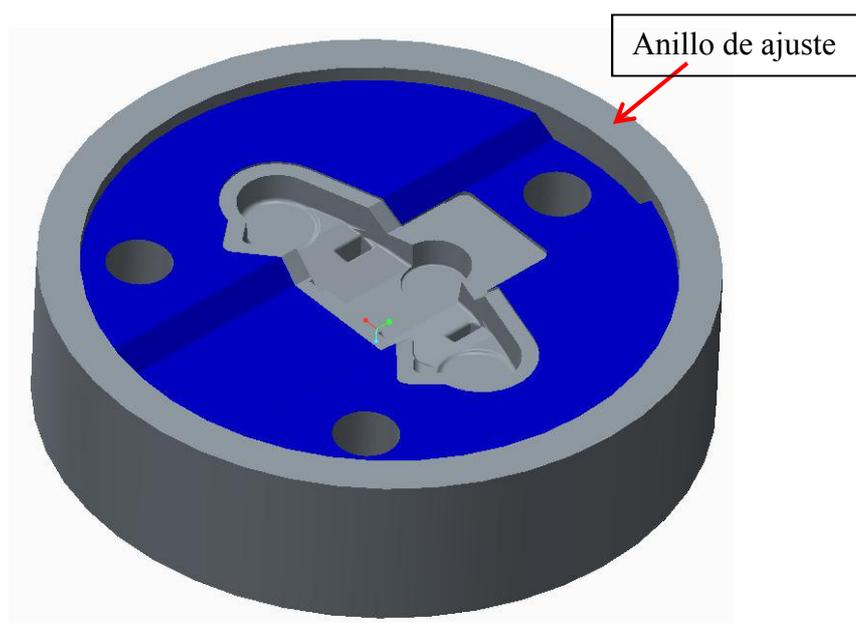
Observando los resultados, se detecta que la presencia de rebarbas se concentra en la sección donde se ubica el eje principal, por lo que se requiere de una nueva modificación

de la geometría de la zona. Para esto se extendieron las superficies del contorno de la pieza, dándoles una profundidad de  $1,5\text{ mm}$  en ambas caras alejándonos aproximadamente  $10\text{ mm}$ . Adicionalmente, en la zona en la que se desplazó mayor cantidad de material se profundizó un poco más respecto al contorno conformado por el flash, de esta manera evitamos que el material fluya continuamente y alcance los demás complementos a incorporar.

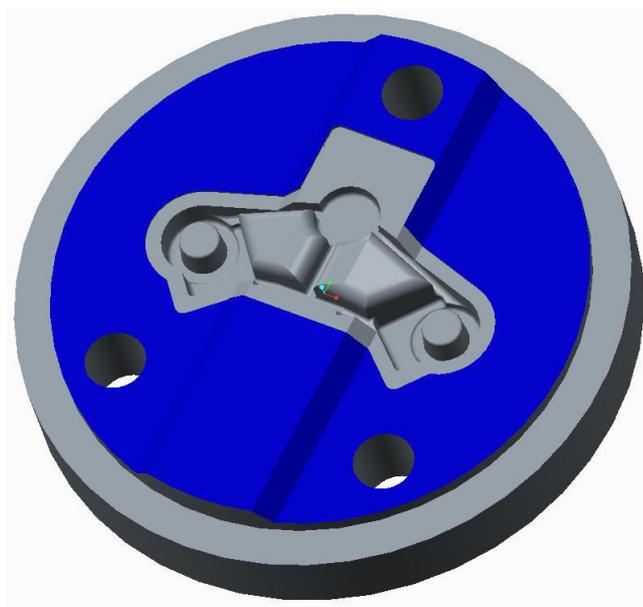
En cuanto a estos complementos se utilizaron sistemas normalizados a fin de completar las características y requerimientos de montaje para garantizar la linealidad y buen cierre de ambas matrices. Aunado a la incorporación de las columnas guías, se generó un saliente en el contorno externo del molde.

Como se observa en la Fig. 4.64, el anillo exterior mostrado juega en la funcionalidad relacionada con la linealidad de nuestro sistema, generando la disminución de los desplazamientos del molde una vez que las fuerzas son aplicadas durante la forja, con esto permitimos la extensión de la vida útil del molde, otorgándole menor efecto sobre las columnas y posibles defectos por desplazamientos en la dirección “x” o “y” no acordes al movimiento de la máquina durante el golpe.

En base a estas condiciones, a continuación se presentan las matrices empleadas para la forja de nuestra pieza, Fig. 4.64.



(a)



(b)

Fig. 4.64: Matriz de forja final para tija inferior (a) Matriz Inferior y (b) Matriz superior.

Llegados a este punto se simuló nuevamente nuestro sistema para garantizar el llenado de la cavidad.

Ya obtenido nuestro modelo general, se prosiguió con la elaboración de la matriz de corte. La función de ésta es remover de nuestra pieza modelo las rebarbas producidas durante la forja. Esta eliminación, se realiza mediante el corte por compresión aplicada sobre unas matrices con la forma del contorno. Una vez forjada la pieza se mantiene la temperatura de procesamiento. Para llevar a cabo el corte se requiere el enfriamiento total de la pieza en condiciones ambientales estándar, para esto la pieza se deja enfriar normalmente. A fin de ver el comportamiento durante el enfriamiento, se simuló en el software simufact forming utilizando un modelo de enfriamiento, empleando de esta manera el mismo modelo para llevar a cabo el corte.

Dentro de los parámetros seleccionados para el modelo de enfriamiento, se asignaron las propiedades del material empleado, las temperaturas de la pieza y las temperaturas del soporte donde se apoyarán nuestros modelos. El árbol de procesamiento resultante contiene los siguientes parámetros de simulación, Fig. 4.65.

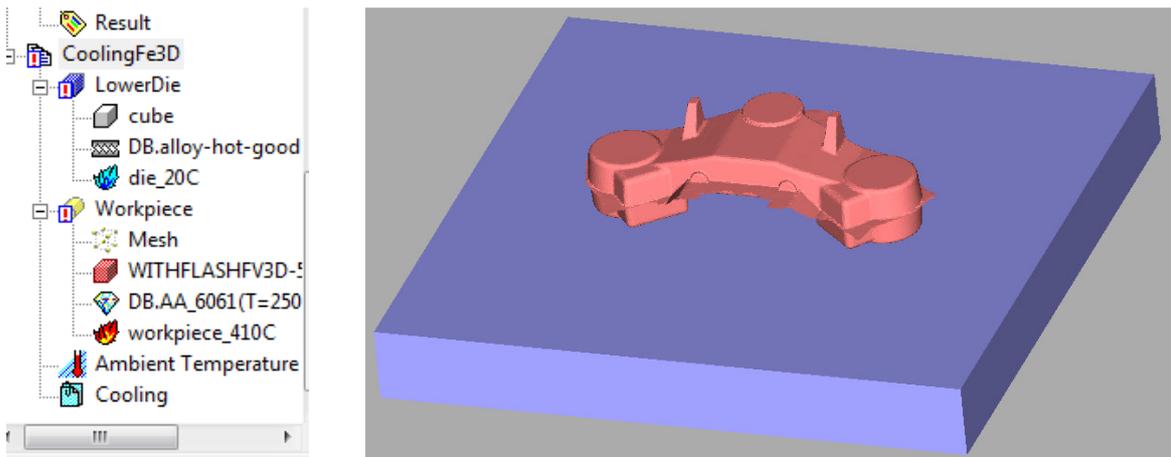
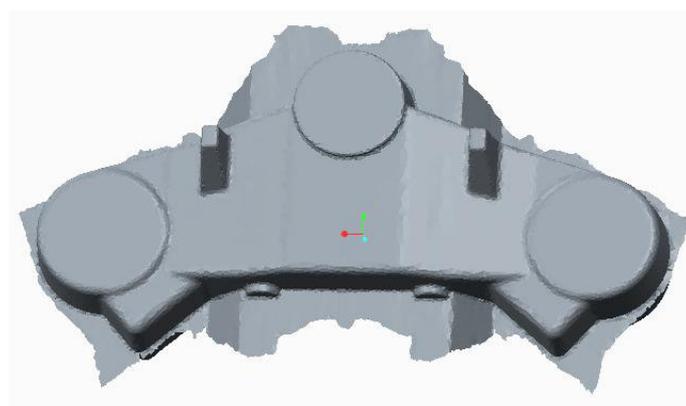


Fig. 4.65: Condiciones de análisis para el enfriamiento ambiente de la pieza una vez forjada.

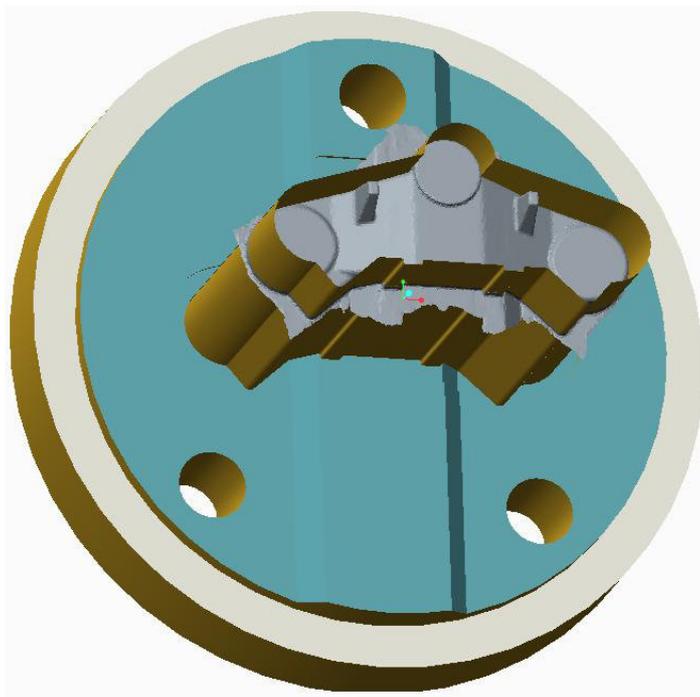
El modelo resultante se exportó en formato .stl. De esta manera se tomó como base de referencia para generar la matriz de corte.

Para construir la matriz de corte se definió el contorno de la pieza esperado. Con esto se realizó la proyección sobre la base de la matriz, delimitando de esta manera la sección por donde nuestra pieza con sobrantes se posicionará, de tal manera que al interactuar (realizando un desplazamiento) la matriz de corte y la pieza se obtenga el modelo deseado.

Comparando el modelo obtenido respecto a la matriz de corte, una vez analizado el forjado y el enfriamiento, el stl obtenido se debe aproximar a la forma esperado. Proyectando nuestro modelo sobre el contorno de la pieza se tiene la imagen mostrada a continuación, Fig. 4.66



(a)



(b)

Fig. 4.66: Base características para la definición de la matriz de corte (a) Modelo de forja simulado con presencia de rebabas y (b) proyección de contorno de la pieza respecto a la matriz.

La definición y elaboración de la matriz de corte se realizó partiendo del modelo anterior, basado en la geometría del contorno se tomaron dos placas con la forma correspondiente. La placa inferior sirve de apoyo para nuestro modelo y posee el borde de corte del contorno, mientras que la placa superior se encarga de mantener pisada la rebaba. Una vez la pieza se encuentra ubicada, la aplicación de unos ejes de empuje sobre la pieza la hacen pasar por la matriz eliminando el sobrante.

Teniendo en cuenta la pieza resultante obtenida de la forja y las características finales de la misma, se procedió a modelar las matrices correspondientes, teniendo como resultado las piezas mostrada en la Fig. 4.67, siendo la sección (a) correspondiente a la matriz inferior, por ambos lados de la misma, y la sección (b), la matriz superior del sistema.

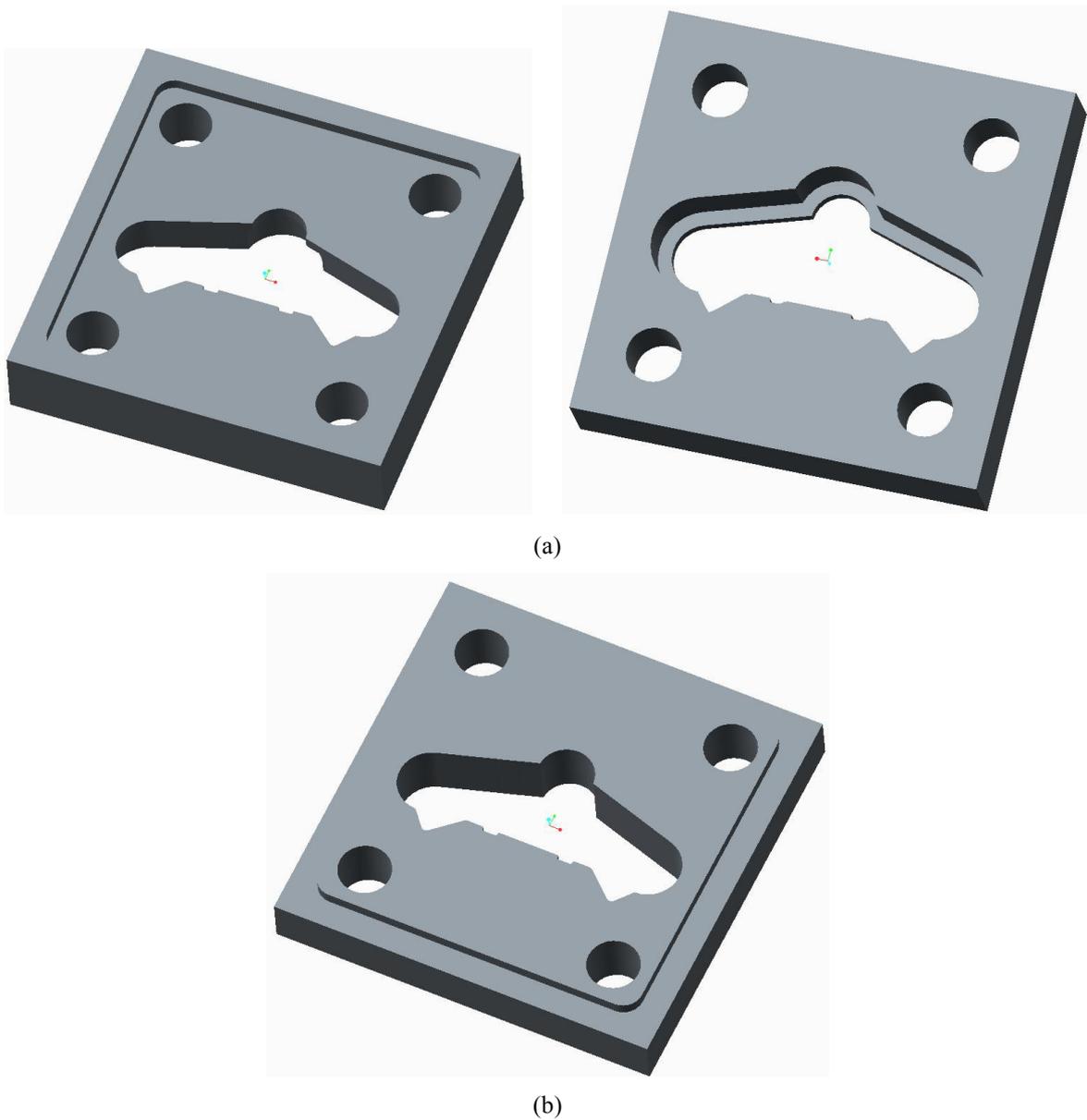


Fig. 4.67: Matrices de corte de pieza forjada (a) matriz inferior de corte y (b) matriz superior de corte.

Modeladas las matrices de corte a emplear, se realizó el soporte para los punzones encargados de aplicar la presión necesaria para que se genere dicho corte. Para esto, con un sistema en el que se posicionan tres puntos de aplicación se generarán las fuerzas necesarias para que se dé la ruptura del material sobrante. Partiendo de la forma obtenida, en la simulación y teniendo en consideración los tres ejes fundamentales de nuestra pieza, se ubicaron los puntos en donde se aplicaran los esfuerzos, Fig.6.68.

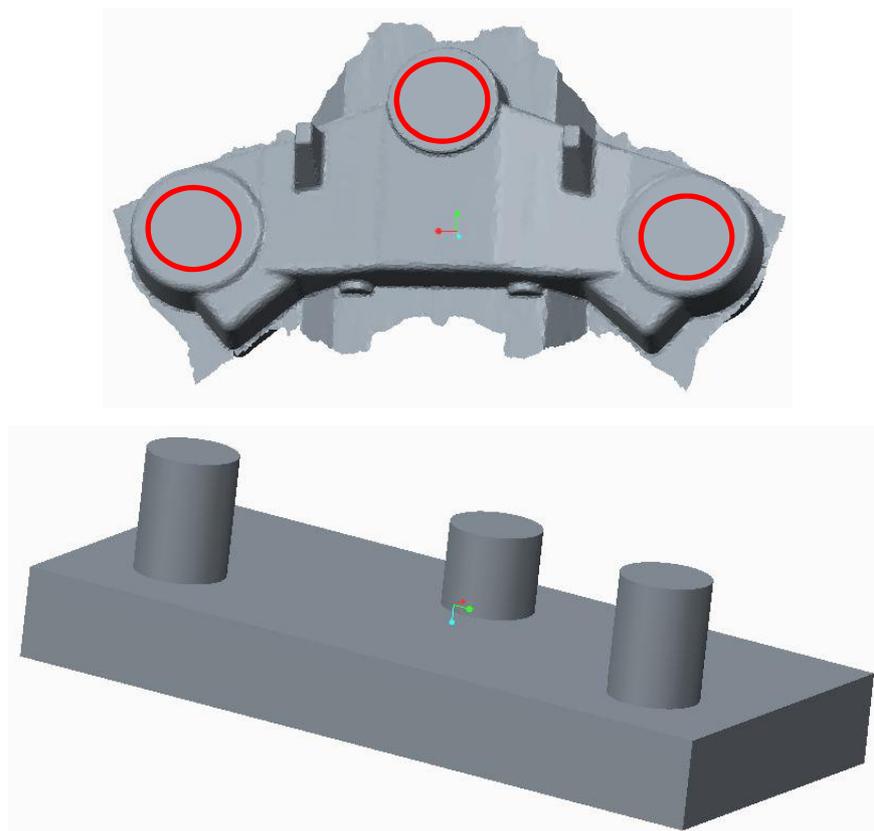
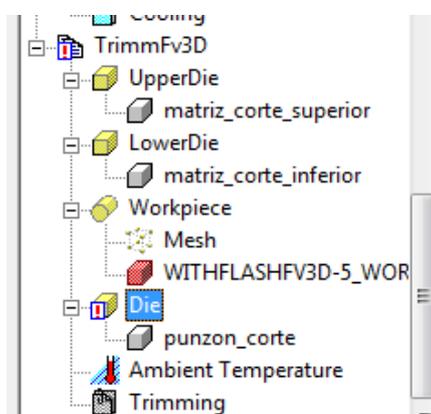
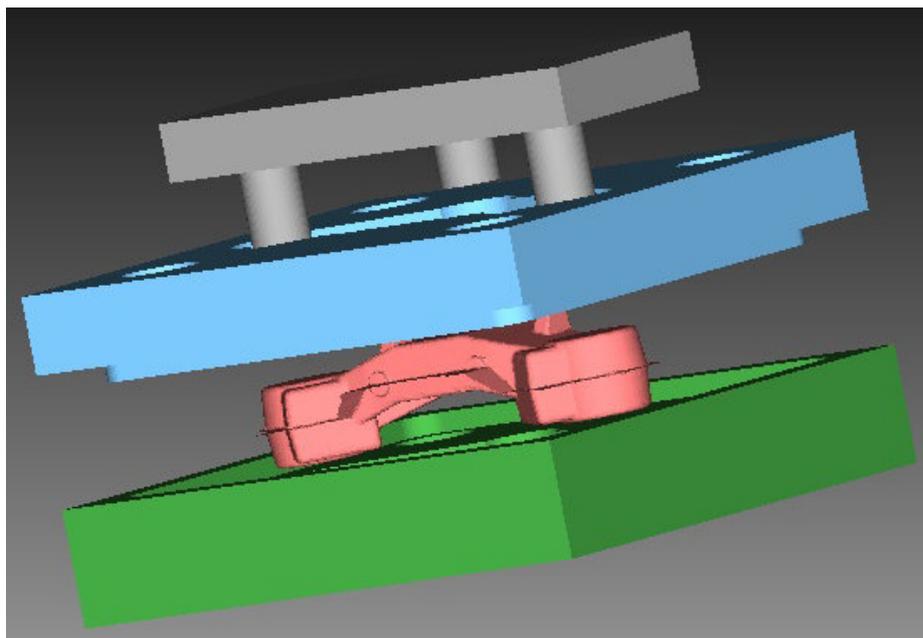


Fig. 4.68: Modelo base para punzones de presión.

Definidos las distintas partes de nuestro sistema de corte, se modeló el posicionamiento de cada una de éstas, visualizando el montaje final mostrado en la Fig.4.69 (b). Para esto dentro de la plataforma de “Simufact Forming” se definieron las tres partes fundamentales de la matriz de corte (matriz superior de corte, matriz inferior de corte y punzón de presión). Adicionalmente se incluyó como pieza de trabajo, la estructura resultante de la simulación anterior (enfriamiento de la pieza). Con esto se definió el árbol de procesamiento necesario para el caso de estudio de corte, mostrado en la Fig.4.69 (a).1



(a)



(b)

Fig. 4.69: Modelado de proceso de corte de rebabas (a) árbol de proceso para definición de condiciones de corte y (b) visualización de montaje de proceso de corte.

Tras realizar los modelos y simulaciones del proceso de fabricación de nuestra pieza se prosiguió con la confección por mecanizado de las distintas partes o útiles que se utilizaran durante el procesado de nuestra pieza (la tija).

#### **4.8 Modelado mecánico de tija inferior para suspensión.**

Como se observó en la sección anterior para obtener la tija se necesita un considerable número de componentes. Cada uno de los componentes implicados, matrices de forja, matrices de corte, etc., requiere un mecanizado. Para realizar los mecanizados se ha utilizado un software CAM en el que se incorporan los distintos aspectos necesarios, desde los parámetros de corte, los utillajes, las herramientas de corte, los materiales de cada una de las partes, etc.

Inicialmente se definen las dimensiones del material en bruto, considerando las geometrías y las características antes de nuestra matriz de forja. Para lograr observar los cortes de material y poder mecanizar la pieza, la selección dimensional de nuestra pieza de trabajo se hizo por encima de los valores finales del molde.

Una vez definidas las dimensiones del material a mecanizar, mediante el módulo de mecanizado de Creo 2.0 se relacionaron las superficies del modelo del molde con las del material a mecanizar, teniendo como resultado lo observado en la Fig 4.70.

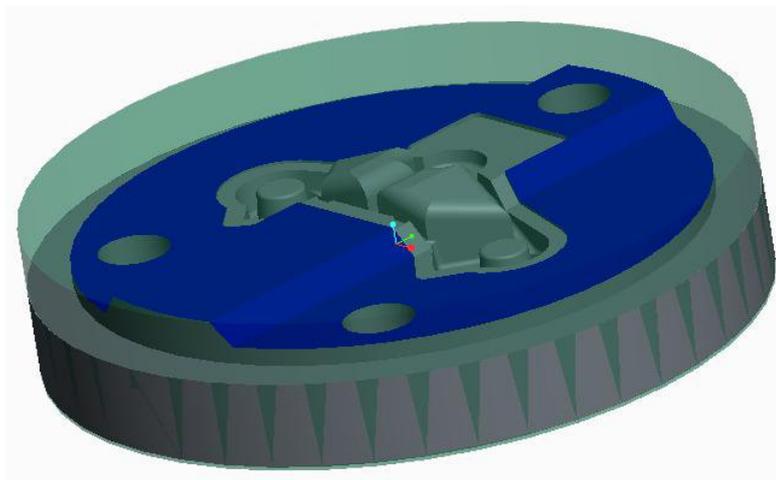


Fig. 4.70: Superposición de modelo de referencia y pieza trabajada para modelado de matriz de forja superior.

Como se puede observar en la Fig. 4.70 la zona traslucida corresponde al material a remover en nuestro modelo. Cabe indicar que el estudio general del mecanizado de cada una de los moldes se asemeja, por lo que se ha decidido mostrar solo las operaciones empleadas en los mecanizados de las partes superiores de cada proceso (forja y corte), así como también el mecanizado final de la tija.

De igual manera, a modo de ejemplo, se realizara la selección de una herramienta ejemplo y se le calcularan las condiciones de corte. Los valores reportados proceden del catálogo de herramientas de la empresa Iscar.

Entre los principales parámetros de corte está la velocidad de avance y la velocidad de giro de la herramienta. Para calcular la velocidad de giro se emplea la siguiente relación:

$$N = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

Siendo

- $N$  = velocidad de giro de la herramienta (rpm).
- $V_c$  = velocidad de corte respecto al material a trabajar (m/min).
- $D$  = Diámetro de la herramienta (mm)

Para determinar la velocidad de avance usamos:

$$V_a = f_z \cdot Z \cdot N$$

Siendo

- $N$  = velocidad de giro de la herramienta (rpm).
- $V_a$  = velocidad de avance (mm/min).
- $f_z$  = Avance por diente (mm/diente).
- $Z$  = Número de dientes.

Para una herramienta de fresado de diámetro  $10\text{ mm}$  con 4 dientes de corte, el catálogo de Iscar propone ciertos parámetros respecto a las velocidades de corte y al avance por diente. Teniendo en cuenta que en secciones posteriores se planteará con detalle en que operaciones se empleará la herramienta, a modo de demostrar los cálculos se definió el material y el proceso de fresado a realizar.

El material a ser removido es el aluminio aleado EN-AW 6082 T6, como se decidió, y la operación de fresado a realizar será el planeado de la superficie de contacto entre el eje de dirección y la superficie de la tija, como se muestra a continuación, Fig. 4.71.

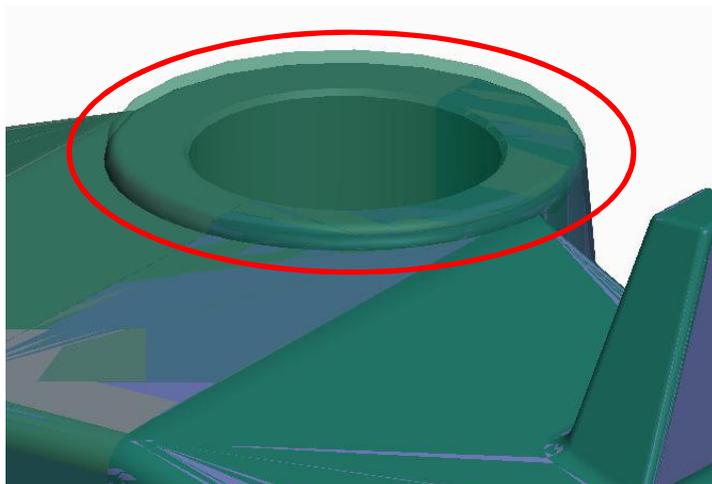


Fig. 4.71: Sección de mecanizado de tija inferior mediante fresa plana de diámetro  $10\text{ mm}$ .

Para llevar a cabo el planeado de la superficie, a fin de no sobre exponer nuestra herramienta, la remoción del material se llevará a cabo usando un 75 % de su diámetro, partiendo de la tabla mostrada a continuación y del diámetro de nuestra herramienta se define el avance de corte por diente, Fig. 4.72.

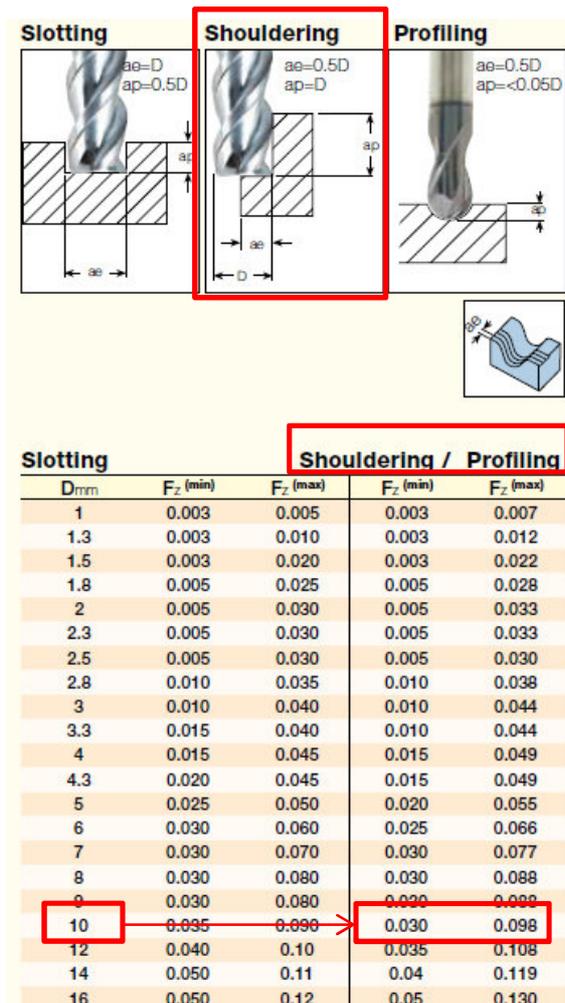


Fig. 4.72: Condiciones de corte por diente para fresa plana de diámetro 10 mm.

Respecto al material (aluminio aleado forjado), el catálogo nos presenta los siguientes valores de velocidades de corte expresados en m/min (Fig. 4.73):

<b>N</b>	Aluminum-wrought alloy		Not cureable	60	21
			Cured	100	22
	Aluminum-cast, alloyed	<=12% Si	Not cureable	75	23
			Cured	90	24
		>12% Si	High temperature	130	25
	Copper alloys	>1% Pb	Free cutting	110	26
			Brass	90	27
			Electrolitic copper	100	28
	Non-metallic		Duroplastics, fiber plastics		29
			Hard rubber		30

21				800 - 900
22				700 - 800
23				800 - 900
24				750 - 850
25				400 - 450
26				500 - 550
27				500 - 550
28				350 - 380
29				
30				

Fig. 4.73: Velocidad de corte en m/min para el EN-AW 6082 T6.

Para ambos casos se tomó el valor medio entre los valores reportados teniendo que:

- $f_z = 0,064$  mm/diente.
- $V_c = 850$  m/min

Con esto se calculó el valor correspondiente a las revoluciones de giro de la herramienta.:

$$N = \frac{850 \cdot 1000}{\pi \cdot 10} = 27056 \text{ rpm}$$

Obteniendo la siguiente velocidad de avance:

$$V_a = 0,064 \cdot 4 \cdot 27056 = 6926 \text{ mm/min}$$

Cabe destacar que estos valores se ajustaron teniendo en cuenta las características de la máquina, por ejemplo, máximas revoluciones disponibles, máximo avance disponible o máxima potencia útil en la máquina. El resto de herramientas sigue un tratamiento similar.

#### 4.8.1 Modelado mecánico de matriz de forja.

En la siguiente imagen, Fig. 4.74, se muestra el árbol de operaciones necesarias para el mecanizado de la matriz superior a utilizar en el proceso de forja.

	Nombre	Tipo	Ejes
+	SUBFASE_1	OPERACIÓN	
+	OPERACIÓN_1_1	PLANEADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_2_1	TALADRO ESTÁNDAR	Ejes 3
+	OPERACIÓN_3_1	PERFILADO	Ejes 3
+	SUBFASE_2	OPERACIÓN	
+	OPERACIÓN_1_2	DESBASTE	Ejes 3
+	OPERACIÓN_2_2	REMECANIZADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_3_2	PERFILADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_4_2	PLANEADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_5_2	FRESADO DE SUPERFICIES	Ejes 5
+	OPERACIÓN_6_2	ESCARIADO	Ejes 3

Fig. 4.74: Árbol de procesos de mecanizado para matriz de forja superior.

Dada las características de la matriz de forja, ya que incluye superficies 3D, su procesamiento requiere el uso de un CNC de 5 ejes (operación\_5\_2 de la Fig. 4.74). Al realizarse todas las operaciones en la misma máquina, nuestro proceso de mecanizado se compone de una fase.

Teniendo en cuenta los amarres requeridos para la sujeción de esta pieza se debe dividir el mecanizado en 2 partes, dos sub-fases (amarres o volteos diferentes). Los mecanizados realizados a la cara en contacto a la máquina de tornillo para el forjado y los mecanizados de cara a la superficie en contacto con la matriz inferior.

En la Tabla 4.3 mostrada a continuación se pueden ver las operaciones requeridas para el mecanizado completo de la matriz de forja superior, incluyendo también, los parámetros de corte de cada una de las herramientas empleadas, los puntos y los sistemas de sujeción implicados, entre otros.

La selección de herramientas se hizo buscando el mecanizado adecuado de nuestra pieza, todo esto dentro de las especificaciones reportadas en los catálogos de Iscar y la funcionalidad que cada una de sus herramientas permite.

Tabla 4.3: Hoja de ruta para fabricación de matriz de forja superior Sub-fase 1.

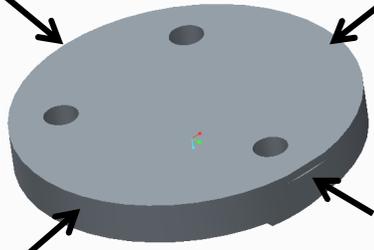
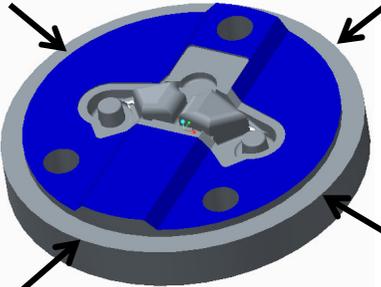
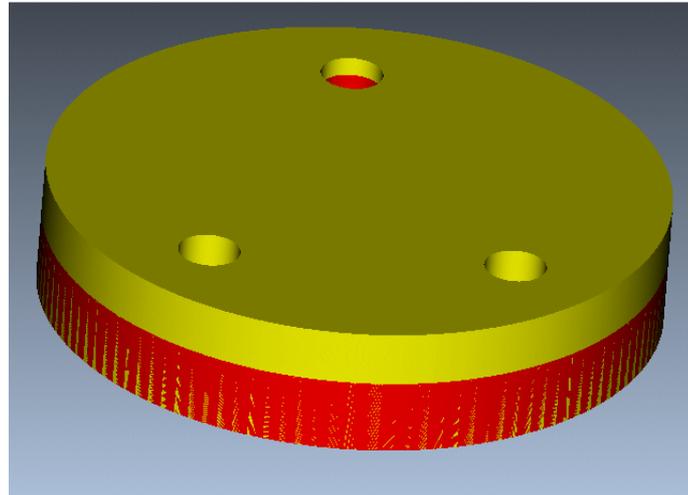
Fabricación: mecanizado y control																
Pieza: Matriz superior para forja			Nº pieza:	1	Nº plano:	-	Operario: -----							Hoja: 1 / 2		
F	S	O	Definición	Croquis	Amarre	Hta	Porta-Hta	V <sub>c</sub>	N	P	Sn	V <sub>a</sub>	f <sub>z</sub>	T	Po	Sistema de mecanizado
a	u	p				Plaquita	m/min	r	mm	mm/rev	mm/min	mm/rev	Min	Kw		
01	01	01	Planeado de superficie.		Plato de 3 ó 4 garras autocentrante	SOMT 060204-HQ	E90SP D32-W25-10	45	448	2	-	108	0,08	-	-	CNC 5Ejes
		02	Taladrados de las columnas de centrado.		Plato de 3 ó 4 garras autocentrante	AOMT 040204-90DT	DR040-080-40-12-2D-N	120	955	5	0,1	190	-	-	-	CNC 5Ejes
		03	Perfilado de superficie para los centrados posteriores.		Plato de 3 ó 4 garras autocentrante	EC100B 22-4W10	-	150	477 5	0,5	-	1337	0,07	-	-	CNC 5Ejes

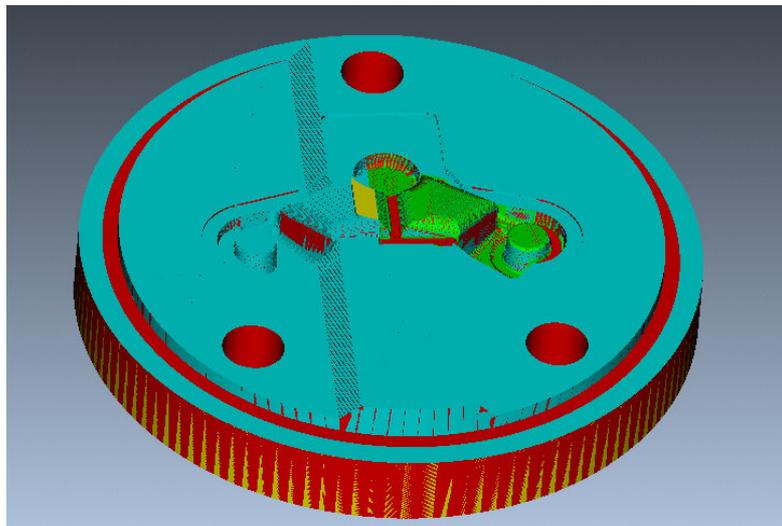
Tabla 4.3 (cont.): Hoja de ruta para fabricación de matriz de forja superior Sub-fase 2.

Fabricación: mecanizado y control																		
Pieza: Matriz superior para forja			Nº pieza:	1	Nº plano:	-	Operario: -----										Hoja: 2 / 2	
F	S	O	Definición	Croquis	Amarre	Hta Plaquita	Porta- Hta	V <sub>c</sub> m/min	N rpm	P mm	Sn mm/rev	V <sub>a</sub> mm/min	t <sub>c</sub> min	T Min	Pot Kw	Sistema de mecanizado		
0102	a	u	01	Desbaste inicial de superficie.		Plato de 3 ó 4 garras autocentrante	SOMT 060204-HQ	E90SP D32-W25-10	45	448	2	-	108	0,08		-	CNC 5Ejes	
			02	Remecanizado de cavidad interna de superficie de la tija y perfil de desahogo o flashes		Plato de 3 ó 4 garras autocentrante	EC100B22-4W10	-	150	4775	0,5	-	1337	0,07		-	CNC 5Ejes	
			03	Perfilado circular del borde de cierre de placa		Plato de 3 ó 4 garras autocentrante											-	CNC 5Ejes
			04	Planeado de caras superiores		Plato de 3 ó 4 garras autocentrante	SOMT 060204-HQ	E90SP D32-W25-10	45	448	2	-	108	0,08		-	CNC 5Ejes	
			05	Acabado de cavidad interna para la tija inferior		Plato de 3 ó 4 garras autocentrante	EB-A2 02-02/04C06H50	-	150	23875		0,02	1910	0,02		-	CNC 5Ejes	
			06	Escariado de las columnas		Plato de 3 ó 4 garras autocentrante	RM-SHR-4000-H7N-MT4-CB	-	10	80	0,3	0,30	2,4	-		-	CNC 5Ejes	

A fin de visualizar los procesos mecanizados en la Fig. 4.75 se presenta una vista parcial de la remoción de material durante el proceso de acabado de las superficies internas de nuestra tija. Como se puede apreciar en la sección (a) se tiene la pieza parcialmente mecanizada (resultante de la subfase 1), mientras que en la (b) gran parte ha sido removido.



(a)



(b)

Fig. 4.75: Simulado de remoción de material en Vericut para matriz de forja superior, (a) remoción parcial desde la subfase 1 y (b) mecanizado superficial en subfase 2, operación 5.

Para la matriz de forja inferior se aplicaron los mismos criterios aplicados para la sección superior, para este caso el árbol de procesamiento se basó en las siguientes operaciones de mecanizado, fig. 4.76.

	Nombre	Tipo	Ejes
+	SUBFASE_1	OPERACIÓN	
+	OPERACIÓN_1_1	PLANEADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_2_1	TALADRO ESTÁNDAR	Ejes 3
+	OPERACIÓN_3_1	CAJEADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_4_1	PERFILADO	Ejes 3
+	SUBFASE_2	OPERACIÓN	
+	OPERACIÓN_1_2	PLANEADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_2_2	DESBASTE	Ejes 3
+	OPERACIÓN_3_2	REMECANIZADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_4_2	PLANEADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_5_2	FRESADO DE SUPERFICIES	Ejes 5
+	OPERACIÓN_6_2	ESCARIADO	Ejes 3

Fig. 4.76: Árbol de procesos de mecanizado para matriz de forja superior.

#### 4.8.2 Modelado mecánico de matriz de corte.

Respecto a las matrices de corte el procesamiento y fabricación resulta también similar, la composición del árbol de mecanizado requerida para esta pieza se muestra en la Fig. 4.77.

	Nombre	Tipo	Ejes
+	SUBFASE_1	OPERACIÓN	
+	OPERACIÓN_1_1	PLANEADO	Ejes 3
+	SUBFASE_2	OPERACIÓN	
+	OPERACIÓN_1_2	PLANEADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_2_2	PERFILADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_3_2	TALADRO ESTÁNDAR	Ejes 3
+	OPERACIÓN_4_2	ESCARIADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_5_2	DESBASTE	Ejes 3
+	OPERACIÓN_6_2	PERFILADO	Ejes 3

Fig. 4.77: Árbol de procesos de mecanizado para matriz de forja superior

Tabla 4.4: Hoja de ruta para fabricación de matriz de corte superior.

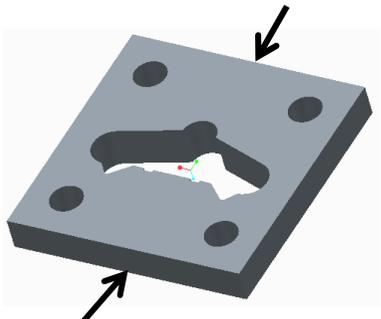
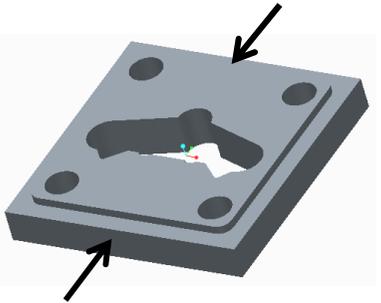
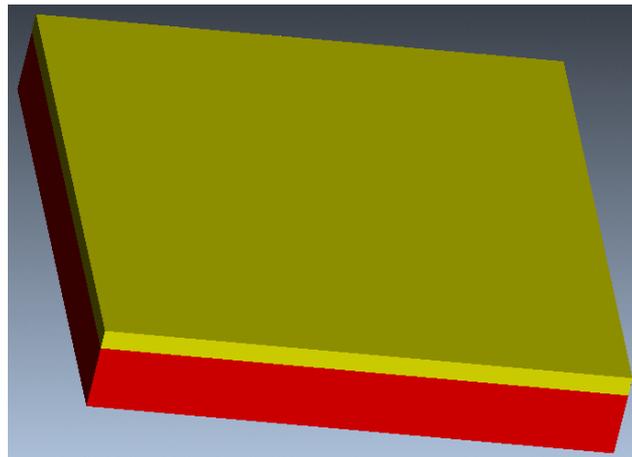
Fabricación: mecanizado y control																
Pieza: Matriz superior para forja			Nº pieza:	1	Nº plano:	Operarios: Yósbel Galavís										Hoja: 1 / 2
F	S	O	Definición	Croquis	Amarre	Hta Plaquita	Porta-Hta	V <sub>c</sub> m/min	N rpm	P mm	Sn mm/rev	V <sub>a</sub> mm/min	t <sub>c</sub> min	T Min	Pot Kw	Sistema de mecanizado
01	01	01	Planeado de superficie.	 	Mordaza 2T de sección 300 mm	SOMT 060204-HQ	E90SP D32-W25-10	45	448	2	-	108	0,08	-	-	CNC 5Ejes

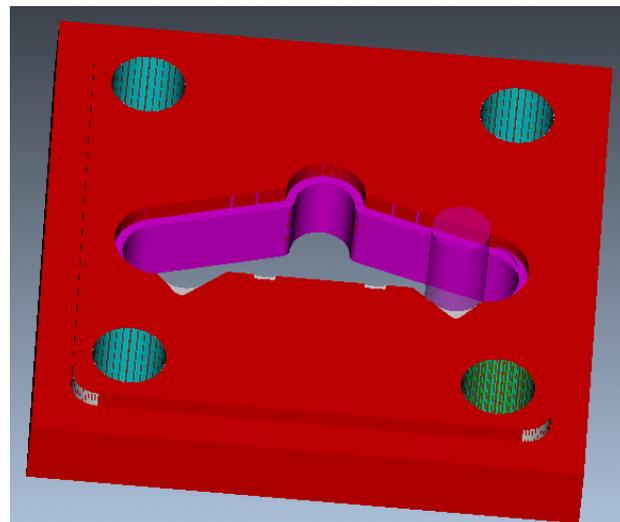
Tabla 4.4 (cont.): Hoja de ruta para fabricación de matriz de corte superior.

Fabricación: mecanizado y control																	
Pieza: Matriz superior para forja			Nº pieza:	1	Nº plano:	-	Operario: -----										Hoja: 2 / 2
F	S	O	Definición	Croquis	Amarre	Hta Plaquita	Porta- Hta	V <sub>c</sub> m/min	N rpm	P mm	S <sub>n</sub> mm/rev	V <sub>a</sub> mm/min	f <sub>z</sub> mm/rev	T Min	Pot Kw	Sistema de mecanizado	
a	u	p															
s	b	e															
e	F	r															
0102	01	Planeado superficial		Mordaza 2T de sección 300 mm	SOMT 060204-HQ	E90SP D32-W25-10	45	448	2	-	108	0,08	-	-	-	CNC 5Ejes	
	02	Perfilado externo para el cierre de placas		Mordaza 2T de sección 300 mm	EC100B22-4W10	-	150	4775	0,5	-	1337	0,07	-	-	-	CNC 5Ejes	
	03	Taladrado de cavidad para las columnas guía		Mordaza 2T de sección 300 mm	AOMT 040204-90DT	DR040-080-40-12-2D-N	120	955	5	0,1	190	-	-	-	-	CNC 5Ejes	
	04	Escariado de las cavidades de las columnas		Mordaza 2T de sección 300 mm	RM-SHR-4000-H7N-MT4-CB	-	10	80	0,3	0,30	2,4	-	-	-	-	CNC 5Ejes	
	05	Desbaste de la cavidad interna para la tija inferior		Mordaza 2T de sección 300 mm	SOMT 060204-HQ	E90SP D32-W25-10	45	448	2	-	108	0,08	-	-	-	CNC 5Ejes	
	06	Perfilado de ajuste para la cavidad interna para la tija inferior		Mordaza 2T de sección 300 mm	EC100B22-4W10	-	150	4775	0,5	-	1337	0,07	-	-	-	CNC 5Ejes	

A fin de observar el mecanizado, a continuación, Fig. 4.78, se muestra la simulación respectiva al mecanizado de la cavidad interna mediante el módulo de visualización por arranque de material. En la sección (a) se presenta el material con poco arranque material (resultante de la subfase 1), mientras que en la sección (b) se muestra el avance del arranque de material, durante la subfase 2, aplicando la operación 5 mencionada en la Tabla 4.4



(a)



(b)

Fig. 4.78: Simulado de remoción de material en Vericut para matriz de corte superior, (a) remoción parcial desde la subfase 1 y (b) mecanizado superficial en subfase 2, operación 5.

Para la matriz de corte inferior tenemos el siguiente árbol de mecanizado.

	Nombre	Tipo	Ejes
+	SUBFASE_1	OPERACIÓN	
+	OPERACIÓN_1_1	PLANEADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_2_1	CAJEADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_3_1	TALADRO ESTÁNDAR	Ejes 3
+	POCKET_MILLIN...	CAJEADO	Ejes 3
+	SUBFASE_2	OPERACIÓN	
+	OPERACIÓN_1_2	PLANEADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_2_2	CAJEADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_3_2	PERFILADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_4_2	CAJEADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_5_2	PERFILADO	Ejes 3
+	OPERACIÓN_6_2	ESCARIADO	Ejes 3

Fig. 4.79: Árbol de procesos de mecanizado para matriz de forja superior

### 4.8.3 Mecanizado final de tija inferior.

Definidos los requerimientos para cada una de las matrices involucradas en los procesos previos de obtención de la pieza, como se planteó en la sección 4.6.1, ciertas características que no se podían realizar en proceso de forja se deben llevar a cabo. Para esto se necesita el mecanizado de las secciones faltantes:

- Taladrados frontales
- Los taladrados de las cavidades para los tornillos de sujeción de las barras telescópicas
- El taladrado de las cavidades para barras telescópicas
- El taladrado de la cavidad para el eje central
- El planeado para el apoyo del eje central.

Pese a ser procesos sencillos a realizar sobre la pieza resulta complicado garantizar un buen amarre de la pieza, lo que complica la sujeción general de la pieza una vez se someta a mecanizado.

Para garantizar un amarre adecuado, se modeló un soporte general que garantice el apoyo de la misma, eliminando con esto la toma de medidas para garantizar el paralelismo respecto al montaje en la máquina, y reduciendo en buena medida los tiempos implicados

durante la sujeción de la pieza. Ya con esta base, el apriete se puede realizar mediante tornillos de ajuste

Para generar la pieza de sujeción se tomó como referencia la sección inferior de la tija, a fin de garantizar su acople, logrando de esta manera que el apoyo en la zona central resulte lo bastante bueno para tolerar los esfuerzos generados durante el mecanizado. La base de amarre resultante tras las consideraciones anteriores se muestra en la figura, Fig. 4.80.

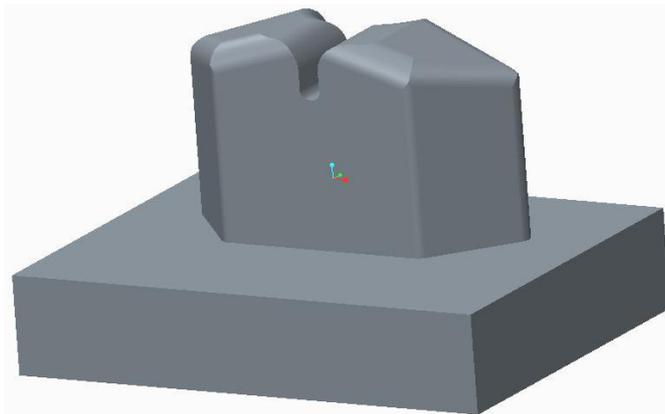


Fig. 4.80: Modelado parcial de base soporte para apoyo de sujeción de la tija inferior.

Respecto a los taladrados frontales y a los de las cavidades de los tornillos para apriete, teniendo en cuenta que estos atraviesan toda la sección en la que se ubican, a fin de minimizar el efecto de estos sobre la base, el modelado de la base incluye cavidades en el mismo eje de procesamiento con un diámetro mayor al de la tija inferior. Mediante esto se minimiza el daño sobre esta y elimina la necesidad de modificar la sujeción de la pieza pudiendo mecanizar la mayor cantidad de operaciones. Teniendo esta base, Fig. 4.81.

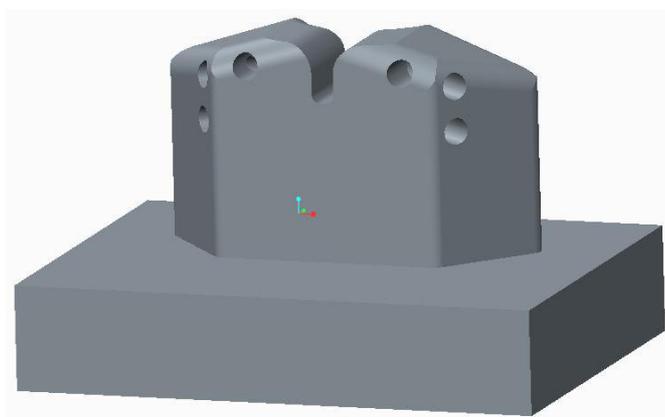


Fig. 4.81: Modelado parcial de base soporte con cavidades para apoyo de sujeción de la tija inferior.

Para finalizar nuestro soporte se añadieron unos soportes en la base para apoyar los laterales de la tija durante el mecanizado de los huecos por donde pasan las barras telescópicas. La inclusión de estos permite eliminar las posibles vibraciones durante el taladrado, mejorando el resultado.

Aunque nuestra pieza puede ser sujeta de otras formas, la elaboración de esta base permite reducir los tiempos de amarre, minimizando así los tiempos globales de trabajo en el caso de procesar más de una pieza. Definidas todas las condiciones necesarias para el soporte de la tija, el montaje final de la base es el mostrado en la Fig. 4.82.

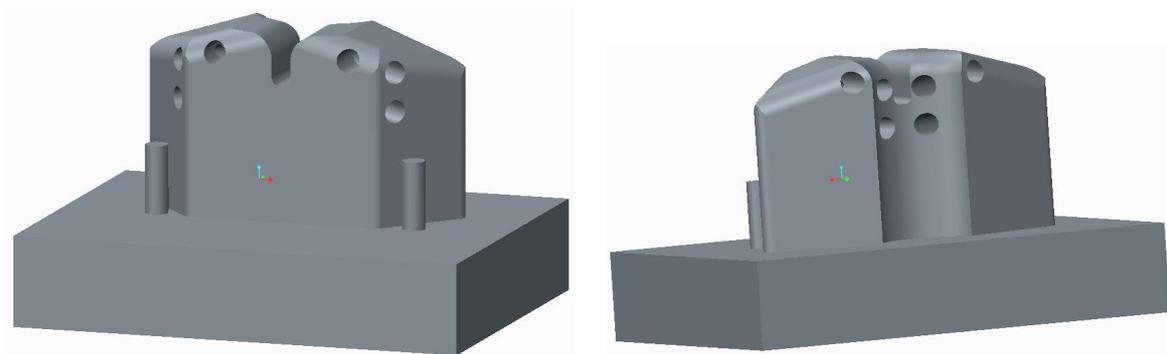


Fig. 4.82: Modelado final de base soporte para apoyo de sujeción de la tija inferior.

A fin de visualizar el amarre la figura 4.83 muestra la tija sobre la base soporte.

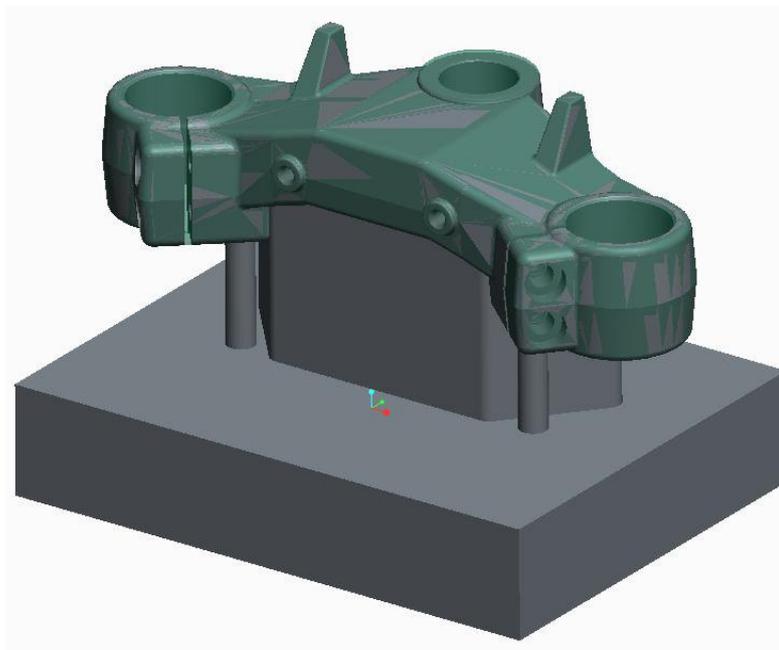


Fig. 4.83: Montaje final de base soporte para sujeción y tija inferior.

Aunque, como se observa en la figura 4.83, los pines para el soporte de la base no alcanzan la altura necesaria

Finalizado el montaje para la sujeción de nuestra pieza, se definió el árbol de mecanizado de la tija inferior. A continuación se muestran las operaciones definidas para nuestra pieza, Fig. 4.84.

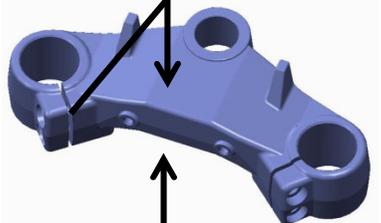
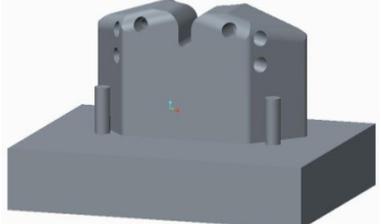
Nombre	Tipo	Ejes
SUBFASE_1	OPERACIÓN	
OPERACIÓN_1_1	TALADRO ESTÁNDAR	Ejes 5
OPERACIÓN_2_1	TALADRO ESTÁNDAR	Ejes 5
OPERACIÓN_3_1	TALADRO ESTÁNDAR	Ejes 5
OPERACIÓN_4_1	ROSCA (FUA)	Ejes 5
OPERACIÓN_5_1	TALADRO ESTÁNDAR	Ejes 5
OPERACIÓN_6_1	TALADRO ESTÁNDAR	Ejes 3
OPERACIÓN_7_1	ESCARIADO	Ejes 3
SUBFASE_2	OPERACIÓN	
OPERACIÓN_1_2	PLANEADO	Ejes 3
OPERACIÓN_2_2	TALADRO ESTÁNDAR	Ejes 3
OPERACIÓN_3_2	ESCARIADO	Ejes 3

Fig. 4.84: Árbol de procesos de mecanizado para tija inferior

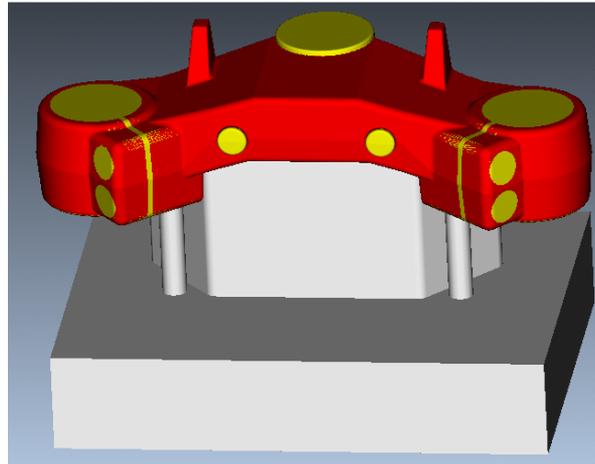
Definiendo la hoja de ruta correspondiente al modelo de la tija, en la Tabla 4.5., se observan las condiciones de sujeción necesarias, aunado a los parámetros de corte y las operaciones aplicadas para el mecanizado final de nuestra pieza de estudio.



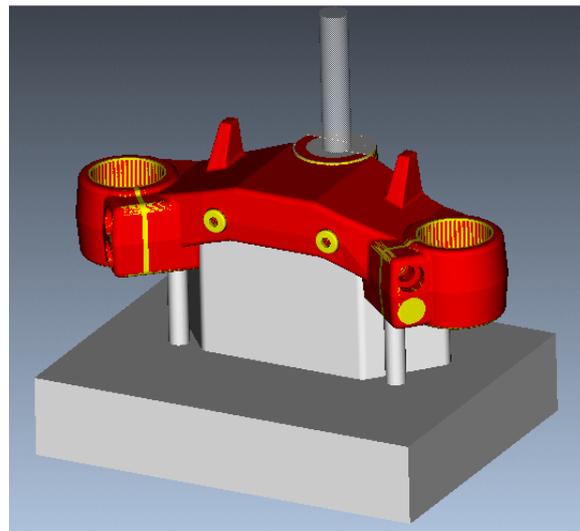
Tabla 4.5 (cont.): Hoja de ruta para mecanizado de tija inferior.

Fabricación: mecanizado y control																	
Pieza: Matriz superior para forja			Nº pieza:	1	Nº plano:	-	Operario: -----										Hoja: 2 / 2
F	S	O	Definición	Croquis	Amarre	Hta Plaquita	Porta- Hta	V <sub>c</sub> m/min	N rpm	P mm	Sn mm/rev	V <sub>a</sub> mm/min	t <sub>c</sub> min	T Min	Pot Kw	Sistema de mecanizado	
		01	Taladrado pasante para el eje central de dirección.		Base modelo de soporte	AOMT 040204-90DT	DR026-052-32-09-2D-N	180	2205	0,5	0,15	660	-		-	CNC 5Ejes	
		02	Escariado de cavidad pasante para el eje central de dirección.		Base modelo de soporte	RM-SHR-2600-H7N-MT3-CB	-	45,00	409,00	0,50	0,55	225,00	-		-	CNC 5Ejes	

A fin de observar el proceso de mecanizado mediante la remoción de materiales se captó la siguiente imagen del simulado mediante Vericut. En la sección (a) se presenta el material sin arranque de material, mientras que en la sección (b) se muestra el avance del arranque de material, durante la subfase 2, aplicándose la operación 1 mencionada en la Tabla 4.5.



(a)



(b)

Fig. 4.85: Simulado de remoción de material en Vericut de la tija inferior, (a) pieza sin mecanizar y (b) mecanizado superficial en subfase 2, operación 1.

Para finalizar la pieza se requiere un último proceso en donde se generen las cavidades de paso de las barras telescópicas. Para esto se seleccionó el electro erosionado. El uso de este método nos permite generar una superficie a la medida deseada manteniendo una superficie plana idónea. Aunque mediante el mecanizado de esta sección se pudiera obtener la forma deseada, debido a la altura de la zona y el espesor de la misma se pudieran generarse efectos adversos (como vibraciones, defectos superficiales, entre otros).

#### 4.9 Estimación de costos para la obtención de tija inferior.

Partiendo de todos los procesos llevados a cabo para el procesamiento y fabricación de la tija estudiada, se definen los costos asociados. Cabe destacar que los valores reportados corresponden a estimaciones.

Considerando cada uno de los términos incluidos en nuestro sistema tenemos los siguientes aspectos a evaluar en el análisis final del costo de la pieza.

- Diseño de pieza.
- Análisis mecánico.
- Análisis de proceso de forja.
- Elaboración de matriz de forja superior.
- Elaboración de matriz de forja inferior.
- Elaboración de matriz de corte superior.
- Elaboración de matriz de corte inferior.
- Elaboración de tija inferior para sistema de suspensión.

Para poder observar en mejor medida los costos implicados en el proceso de fabricación de nuestra pieza, los valores definidos se limitaron a las condiciones de procesamiento, los costos implicados en el diseño y análisis de la pieza no se tomaron, ya que no se llevó un control adecuado de las horas invertidas.

A modo general, cada uno de los aspectos evaluados en el costo se desglosó, planteando los costos fundamentales asociados (materiales, procesos de fabricación, entre otros). Para esto se compararon definieron ciertas ecuaciones de cálculo, facilitando la obtención de los costos.

- $Costo\ del\ mat.\ (\text{€}) = Peso\ del\ bruto\ (Kg) \times Precio\ del\ mat.\ (\text{€/Kg})$
- $Costo\ de\ mec.\ (\text{€}) = Tiempo\ de\ mecanizado\ (h) \times Precio\ de\ mec.\ (\text{€/h})$

Ejemplificando el caso del molde de forja superior tenemos

- $Costo\ del\ mat.\text{Acero 2344 - AISI H13}\ (\text{€}) = 85,00\ Kg \times 5,00\ \text{€/Kg} = 425\ \text{€}$
- $Costo\ de\ mec.\ (\text{€}) = 31\ h \times 55\ \text{€/h} = 1705\ \text{€}$

Partiendo de esto se obtuvo los valores representados en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6: Tabla de costos de procesamiento para tija Inferior de sistema de suspensión.

<b>Parámetro</b>	<b>Costo (€)</b>
Elaboración de molde de forja superior.	
- Material (Acero 2344 – AISI H13)	425
- Mecanizado	1705
Elaboración de molde de forja inferior.	
- Material (Acero 2344 – AISI H13)	505
- Mecanizado	2365
- Complementos (columnas, tornillos, etc.)	72
Elaboración de molde de corte superior.	
- Material (AISI M4)	624
- Mecanizado	442
Elaboración de molde de corte inferior.	
- Material (AISI M4)	736
- Mecanizado	770
- Complementos (columnas, tornillos, etc.)	72
Elaboración de tija inferior	
- Material EN-AW 6082 T6	3
- Forjado (Costo estimado de una pieza)	57
- Mecanizado	55
- Erosionado	90
- Granallado	40
<b>Sub total</b>	<b>7961</b>
<b>IVA (21%)</b>	<b>1672</b>
<b>Total</b>	<b>9633</b>

Como se observa en la tabla anterior nuestro costo implicado de fabricación se aproxima a es de 9650€, cabe destacar que parte de los valores reportados se obtuvieron del software CES Edupack 2011, en el cual se muestran los costos aplicados a la selección de materiales empleada y los procesos de fabricación empleados. De igual manera ciertos costos fueron tomados de referentes teóricos obtenidos de la bibliografía.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIÓN

#### 5.1 Conclusiones

Finalizado el estudio, durante el desarrollo del mismo, se obtuvieron ciertos resultados asociados a la manera en que se desempeñó cada una de las fases implicadas en los análisis. Partiendo de las necesidades a alcanzar, definidas en los objetivos, en líneas generales, se logró obtener una respuesta basada en los distintos aspectos implicados en el diseño y la fabricación, facilitando la visualización de la integración de los modelos CAD, CAM y CAE en el modelado de nuestro caso.

Respecto a los análisis CAD, se logró el modelado completo basado en las necesidades a cubrir. De igual manera, dado a la facilidad e integración que permite el software empleado, se tuvieron en cuenta las distintas referencias de diseño, pudiendo sincronizar entre trabajos las múltiples características involucradas en el desarrollo del proyecto. Gracias a esto, el modelado de nuestra tija pudo estructurarse durante toda la línea de análisis, asociando de cierta manera, cada uno de los aspectos a considerar en su fabricación, incluyéndose progresivamente las mejoras y modificaciones requeridas.

Para nuestro caso, la línea de diseño CAD permitió modelar la pieza, relacionarla con el modelo genérico a obtenerse en el proceso de forja y visualizar los componentes o partes necesarias para realizar su procesado (matrices de forja y matrices de corte), facilitando la comprensión de los aspectos a tomar en los análisis CAE y CAM posteriores.

En relación a los análisis CAE, como se pudo observar, se logró definir la línea más adecuada de procesos y de condiciones a tener en cuenta en el estudio. Basados en fundamentos teóricos, las condiciones de análisis del entorno de operación al que está destinada (componente del sistema de suspensión) y las características de ingeniería involucradas en el funcionamiento pleno de la pieza (condiciones de carga a las que se expone, propiedades mínimas de funcionamiento de los materiales, etc.), se pudo llevar a cabo la selección del material más adecuado (Aluminio Aleado EN-AW 6082 T6), el método de procesamiento (Forjado en caliente con matriz cerrada), el comportamiento del

modelo a las condiciones mecánicas implicadas (ubicados dentro de los rangos de esfuerzos tolerados).

De igual manera, mediante estos análisis CAE, se pudo observar el entorno de simulación y comportamiento de nuestra pieza, ayudando a comprender las implicaciones necesarias y la manera en que la variación de ciertos parámetros afecta el resultado (en nuestro caso de estudio, comprobar los efectos del llenado de la cavidad y la definición de las características de las matrices requeridas en el procesado de la pieza).

A efectos de los análisis CAM, se pudieron definir las condiciones comprendidas en los mecanizados requeridos durante la fabricación de la tija. Para esto, se analizaron tanto las partes involucradas en el proceso de forjado y corte, como también del propio mecanizado de la pieza. Con esto se pudo garantizar la manera más adecuada de procesamiento, así como también la visualización del desarrollo de las piezas y los resultados finales.

Estimando los costos de fabricación, basados en los resultados obtenidos en las distintas etapas de nuestro estudio (selección de materiales, procesos de fabricación, etc.), el valor promedio resultante fue de 9600 €. Cabe destacar que este valor resulta un aproximado, ya que dentro de los costos establecidos se obviaron ciertos parámetros (costos de diseño, de costos de análisis de simulación, entre otros), como también se tomaron algunos valores referentes a los software, que no necesariamente se ajustan a los valores reales (tiempos de mecanizado, costos promedios por proceso, costos promedios de materiales, etc.).

Por último, teniendo en cuenta la manera en que se evaluó progresivamente nuestro objeto de estudio, se podría suponer que la estructura de análisis CAD, CAE y CAM empleada, nos permite tener una idea de los aspectos asociados a una pieza en general, pudiendo así definir para otros casos, la manera más adecuada de obtención de los requerimientos implicados en el diseño y la fabricación de un modelo cualquiera.

## BIBLIOGRAFÍAS

- [1] Anumba, C. J., 1996. Functional integration in CAD systems. *Advances in Engineering Software*, Volumen 25, pp. 103-109.
- [2] Atkins, A. G., 2001. Metal Forming: Formability. En: *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. s.l.:Elsevier Science Ltd., pp. 5401-5408.
- [3] Avitzur, B., 1968. *Metal forming: processes and analysis*. Michigan: McGraw-Hill.
- [4] Castroverde, O., 2012. *Diseño y cálculo de la columna de dirección para una motocicleta con suspensión delantera alternativa*. Leganes, España: Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid.
- [5] Coca, P., 1992. *Manual del Aluminio*. Barcelona, España: Reverte.
- [6] Doege, E., Dreyer, G. & Ruesch, S., 2001. Metal Forming: Close Die Forging. En: *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. s.l.:Elsevier Science Ltd., pp. 5390-5394.
- [7] Fourment, L., 2001. Forging. En: *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. s.l.:Elsevier Science Ltd., pp. 3233-3239.
- [8] Gessinger, G. H., 2009. CHAPTER 4 - Application Phase—Design and Manufacturing. En: *Materials and Innovative Product Development*. Oxford: Butterworth–Heinemann, pp. 79-100.
- [9] Gessinger, G. H., 2009. CHAPTER 4 - Application Phase—Design and Manufacturing. En: *Materials and Innovative Product Development*. Oxford, UK: Butterworth–Heinemann publications, pp. 79-100.
- [10] Hartley, P. & Pillinger, I., 2006. Numerical simulation of the forging process. *Computer methods in applied mechanics and engineering*, Volumen 195, p. 6676–6690.
- [11] Hower, W. & Graf, W., 1996. A bibliographical survey of constraint-based approaches to CAD, graphics, layout, visualization, and related topics. *Knowledge-Based Systems*, Volumen 9, pp. 449-464.
- [12] ISCAR, 2012. *Hole Making Tools*. Israel: IMC Group.
- [13] ISCAR, 2012. *Milling systems catalog*. Israel: IMC Group.
- [14] ISCAR, 2012. *Solid Endmills Multimaster*. Israel: IMC Group.

- [15] Jolgaf, M., Hamouda, A. M. S., Sulaiman, S. & Hamd, M. M., 2003. Development of a CAD/CAM system for process. *Journal of Materials Processing Technology*, Volumen 138, p. 436–442.
- [16] Klocke, F., 2001. Machining and Machinability. En: *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. s.l.:Elsevier Science Ltd., pp. 4683-4688.
- [17] Park, S. B., Choi, Y. & Kim, B. M., 1999. A CAD:CAM system for deep drawing dies in a simple-action. *Journal of Materials Processing Technology*, Volumen 87, p. 258–265.
- [18] Pfeifer, M., 2009. Materials Enabled Designs. En: *Chapter 4 - Material Properties and Materials Science*. Burlington: Elsevier Inc., pp. 59-114.
- [19] Puig, M. B., 2005. *EFEECTO DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN LAS ALEACIONES ALUMINIO-SILICIO*. [En línea] Available at: [www.tdx.cat/bitstream/10803/6045/7/07Mtbp07de29.pdf](http://www.tdx.cat/bitstream/10803/6045/7/07Mtbp07de29.pdf) [Último acceso: Agosto 2013].
- [20] RUUKKI, 2013. *Aluminium EN AW 6082*. [En línea] Available at: [www.ruukki.com](http://www.ruukki.com) [Último acceso: 17 08 13].
- [21] Schmoeckel, D., 2001. Metal Forming (Warm): Comparison with Hot and Cold Forming. En: *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. s.l.:Elsevier Science Ltd., pp. 5437-5439.
- [22] Scholtes, B. & Voehringer, O., 2001. Mechanical Surface Treatment. En: *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. s.l.:Elsevier Science Ltd., pp. 5253-5262.
- [23] Simmons, C. H., Maguire, D. E. & Phelps, N., 2009. CAD organization and applications. En: *Manual of Engineering Drawing (Third Edition)*. Burlington, USA: Elsevier Ltd, pp. 13-26.
- [24] Simmons, C. H., Maguire, D. E. & Phelps, N., 2009. Product development and computer. En: *Manual of Engineering Drawing*. Burlington, USA: Elsevier Ltd., pp. 7-12.
- [25] Tonshoff, H. K., 2001. Machining: Generalities and Economics. En: *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. s.l.:Elsevier Science Ltd., pp. 4697-4703.
- [26] Uhlmann, E. & Frost, T., 2001. Cutting and Drilling of Metals and Other Materials: A Comparison. En: *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. s.l.:Elsevier Science Ltd., pp. 1928-1934.

- [27] UNE-EN 586-1, 1998. Aluminio y aleaciones de aluminio, Piezas forjadas Parte1: Condiciones técnicas de inspección y suministro. En: *Normas Españolas*. Madrid, España: AENOR, pp. 1-13.
- [28] UNE-EN 586-2, 1995. Aluminio y aleaciones de aluminio, Piezas forjadas, Parte2: Propiedades mecánicas y otras propiedades exigidas. En: *Normas Españolas*. Madrid, España: AENOR, pp. 1-13.
- [29] UNE-EN 586-3, 2002. Aluminio y aleaciones de aluminio, Piezas forjadas, Parte3: Tolerancias de dimensión y de forma. En: *Normas Españolas*. Madrid, España: AENOR, pp. 1-53.
- [30] Vazquez, V. H., 2012. *Consideraciones de diseño para la forja cerrada con rebaba*. [En línea] Available at: [http://www.consultorescpm.com.mx/CPM\\_ES/grfx/noticias/pdfs/19.pdf](http://www.consultorescpm.com.mx/CPM_ES/grfx/noticias/pdfs/19.pdf) [Último acceso: Agosto 2013].

## APÉNDICE

### A.1 Parámetros para cálculos de coste

A continuación se presentan los parámetros empleados en la determinación de los costos de nuestro caso de estudio. Los valores reportados se centraron en los resultados provenientes de las distintas plataformas empleadas durante el análisis del proyecto. Respecto a los materiales, definidos mediante la plataforma de CES Edupack 2011, se definieron los valores de costo asociados al material, mostrados en la Tabla A.1.

Tabla A.1: Relación de costo del material por peso

<b>Material</b>	<b>Precio (€/Kg)</b>
Acero de forja 2344 – AISI H13	5,00
Acero de herramienta o corte AISI M4	16,00
Aluminio Aleado EN AW6082 T6	1,80

En relación a los pesos correspondientes a cada uno de los brutos de materiales empleados durante el mecanizado, mediante las propiedades del material y el volumen obtenido del Creo 2.0, para cada pieza, tenemos los siguientes valores.

Tabla A.2: Relación peso del bruto para cada matriz y pieza

<b>Sección de procesado</b>	<b>Peso del bruto (Kg)</b>
Matriz superior de forja	85,0
Matriz Inferior de forja	100,0
Matriz superior de corte	39,0
Matriz inferior de corte	46,0
Tija inferior de suspensión	1,2

Los costos correspondientes al proceso de fabricación se muestran a continuación, de igual manera estos valores se basaron en datos obtenidos del CES y de la teoría investigada.

Tabla A.3: Relación de costo del proceso por hora

<b>Proceso</b>	<b>Costo del proceso (€/h)</b>
Mecanizado	55
Erosionado	45
Granallado	45

Cabe destacar que el precio reportado para la forja, obtenido mediante la plataforma del CES, va representado para el lote de piezas, ajustando las condiciones para nuestro caso el valor obtenido fue de 57 €.

Por último, los tiempos de procesado se tomaron del reporte generado en Creo 2.0 donde se estiman los tiempos de mecanizado, sin embargo se debe tener en cuenta que estos solo representan una aproximación, ya que en la realidad estos números son mayores. Para el erosionado y el granallado los valores fueron supuestos, ya que su definición resulta difícil sin tener en cuenta un modelo comparativo.

Tabla A.4: Tiempos de procesamiento

<b>Condición de procesado</b>	<b>Tiempo de procesado (h)</b>
Matriz superior de forja	31
Matriz Inferior de forja	43
Matriz superior de corte	8
Matriz inferior de corte	14
Tija inferior de suspensión	1
Erosionado	2
Granallado	1

## **A.2 Pliego de condiciones**

A fin de establecer los criterios evaluados durante el estudio, a continuación se definieron algunas de las condiciones de trabajo para que cada una de las simulaciones y medios empleados en la realización del proyecto.

### **A.2.1 Condiciones técnicas**

Definiendo los requerimientos de software empleados durante los análisis CAD, CAE y CAM, a continuación se presentan las versiones de cada uno de estos y los requerimientos para su visualización y aplicación de estudio.

- Creo Parametric 2.0 edición académica, con licencia de acceso estudiantil asociada a la institución.
- Ansys Workbench 14.5 versión profesional, la licencia proveniente de esta se generó bajo conexión directa con el servidor.

- Simufact Forming 10.0 versión profesional, licencia generada por conexión con el servidor.
- CES Edupack 2011, bajo modelo de configuración de estudio de en el nivel 3 (Avanzado), con licencia profesional.
- Vericut versión 7.1, incluida en la versión de Creo 2.0 edición académica, con licencia asociada a la institución.

Los distintos programas se trabajaron en el sistema operativo de Windows Vista Basic, con las siguientes características mínimas del ordenador:

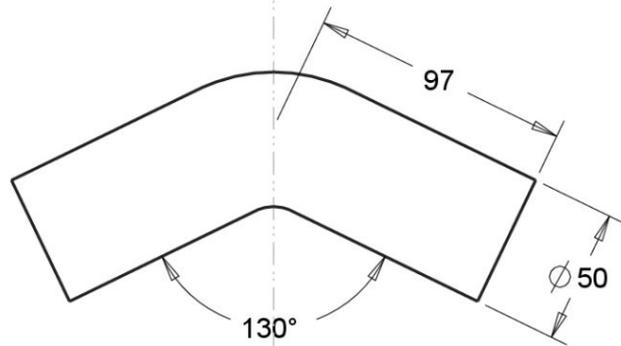
- Conexión de red para posibilitar el acceso a los servidores de licencia.
- Tarjeta gráfica superior a 256 Mb.
- Memoria RAM superior a 512 Mb y disco duro con 20 Gb de espacio libre para la instalación de los programas.

### **A.2.2 Condiciones económicas**

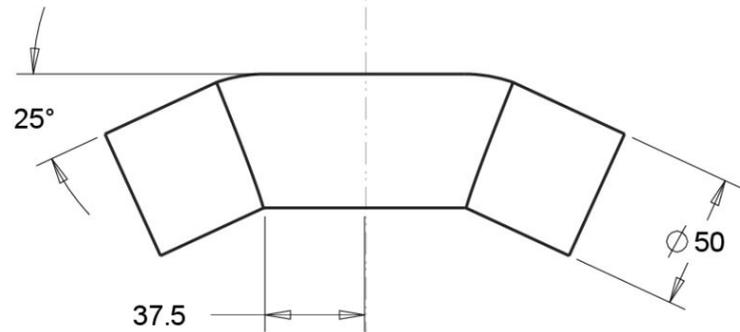
Como se expuso anteriormente en el análisis de costo, los valores obtenidos fueron resultado de parámetro obtenidos del software CES Edupack 2011 y de fuentes bibliográficas donde se establecen algunos de los precios generales involucrados en el modelo realizado.

### **A.3 Planos**

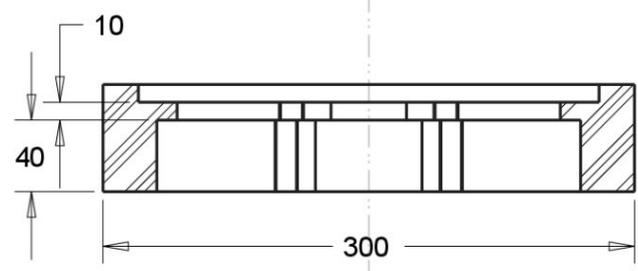
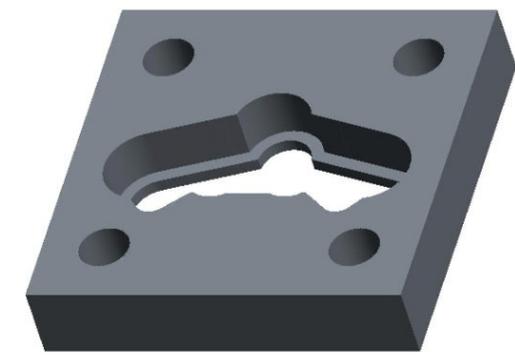
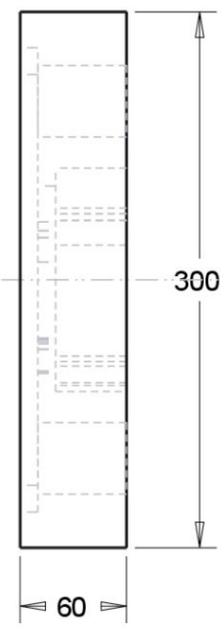
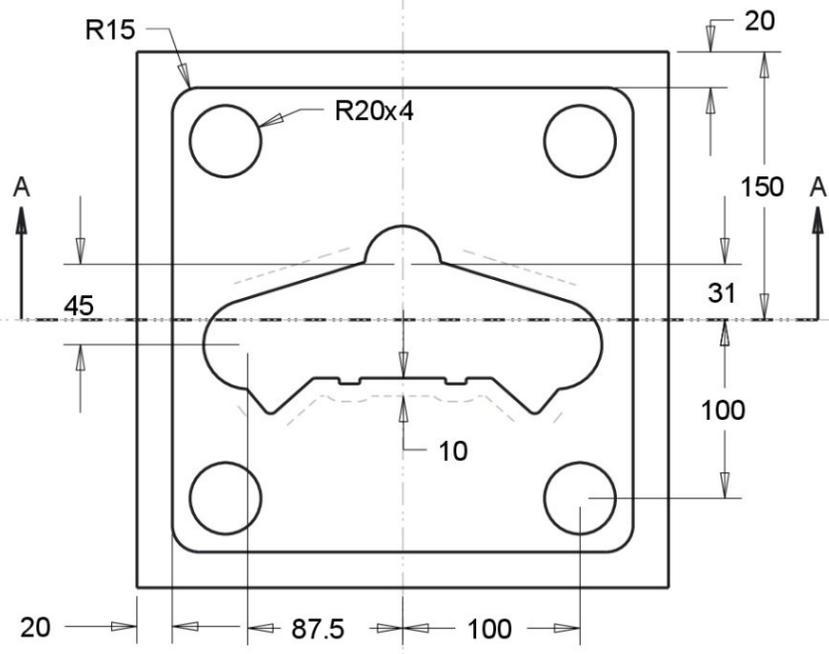
Véase planos anexos a continuación



01	Material de forja		AW-8062 T6	---	----
Nº	Observaciones	Norma	Material	Marca	Medidas en Bruto
Edición: Yósbel Abel Galavís Acosta					
Dibujado.	Fecha: Sep-13	Nombre	----		
Comprobado.	Fecha: Sep-13	Nombre	----		
Escala: 1:50		Bruto_Forja_1			Tolerancias: ± 1mm
Unidades: mm					Rugosidad: ----

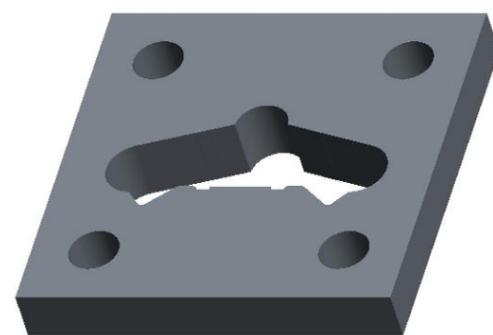
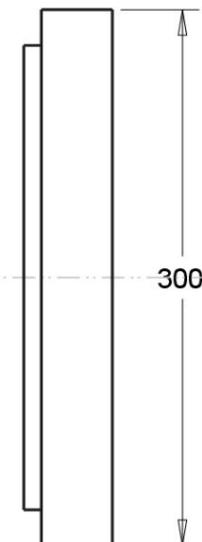
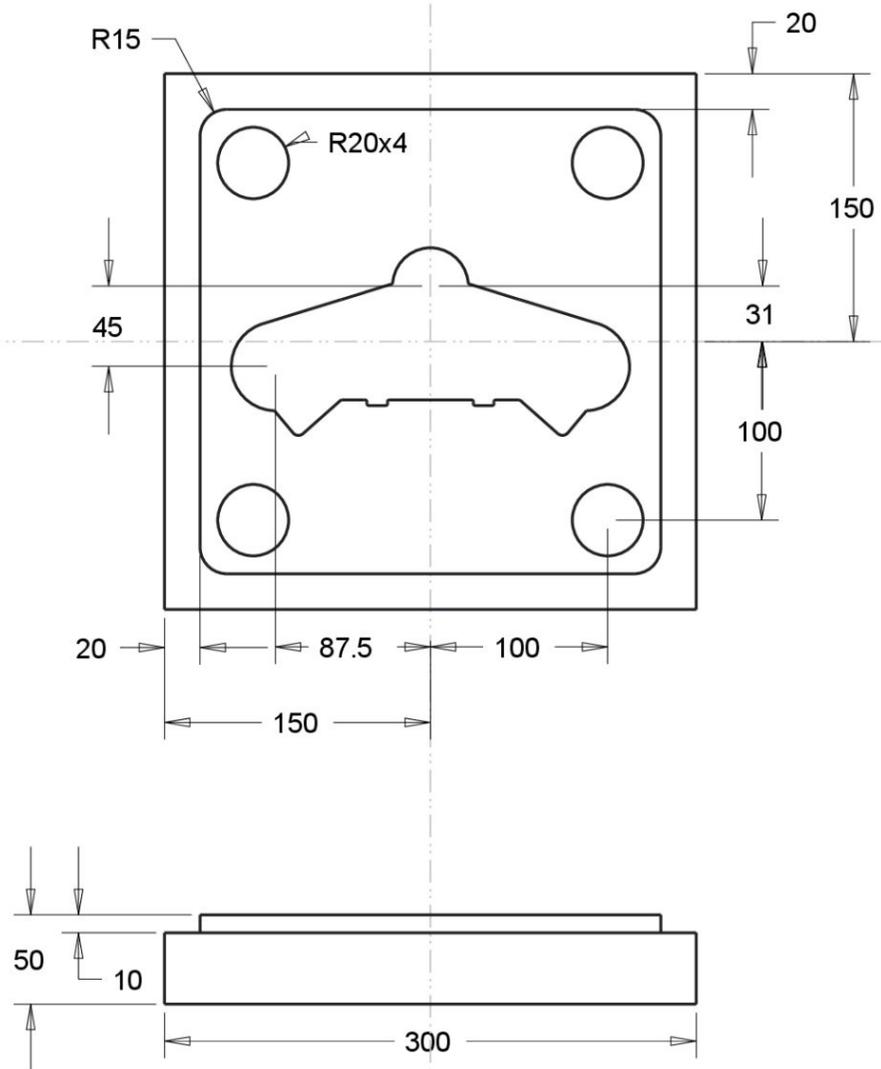


01	Material de forja		AW-8062 T6	---	----
Nº	Observaciones	Norma	Material	Marca	Medidas en Bruto
Edición: Yósbel Abel Galavís Acosta					
Dibujado.	Fecha: Sep-13	Nombre	----		
Comprobado.	Fecha: Sep-13	Nombre	----		
Escala: 1:50		Bruto_Forja_2			Tolerancias: ± 1mm
Unidades: mm					Rugosidad: ----

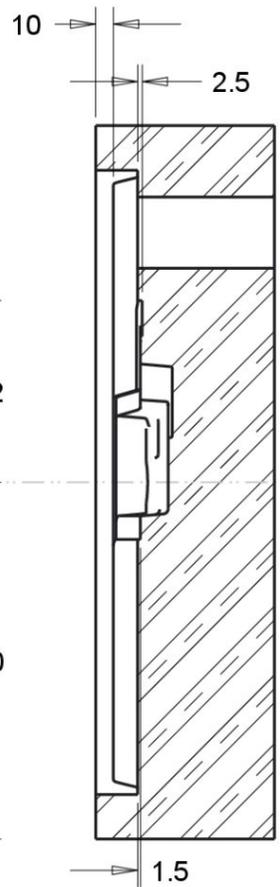
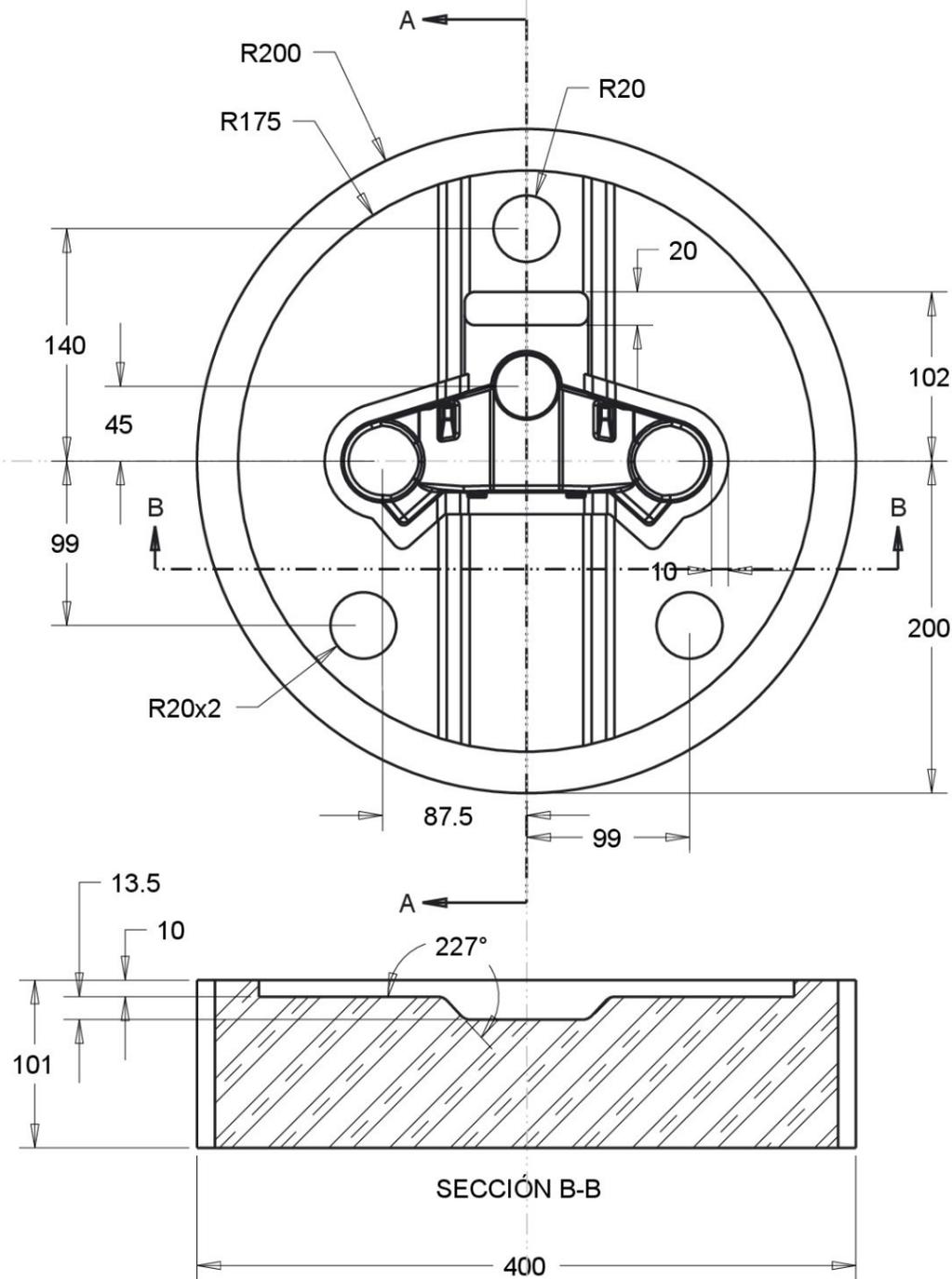


SECCIÓN A-A

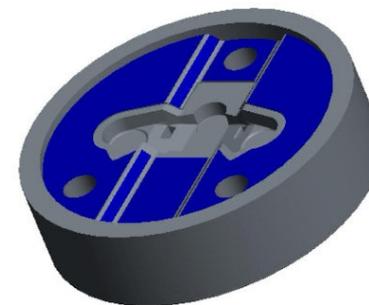
01	Obtener cotas no mostradas en archivo CAD	UNE-EN 586-3	AISI M4	---	300X300X64
Nº	Observaciones	Norma	Material	Marca	Medidas en Bruto
Edición: Yósel Abel Galavis Acosta					Razón Social
Dibujado.	Fecha: Sep-13	Nombre: ----			
Comprobado.	Fecha: Sep-13	Nombre: ----			
Escala: 1:30	Matriz de corte inferior			Tolerancias: ±0.2mm	
Unidades: mm				Rugosidad: ----	



01	Obtener cotas no mostradas en archivo CAD	UNE-EN 586-3	AISI M4	----	300x300x54
Nº	Observaciones	Norma	Material	Marca	Medidas en Bruto
Edición: Yósel Abel Galavís Acosta					Razón Social
Dibujado.	Fecha: Sep-13	Nombre: -----			
Comprobado.	Fecha: Sep-13	Nombre: -----			
Escala: 1:30		Matriz de corte superior			Tolerancias: ±0.2mm
Unidades: mm					Rugosidad:----

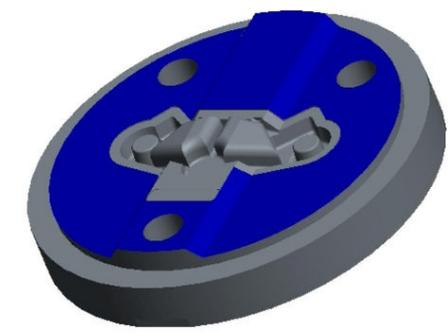
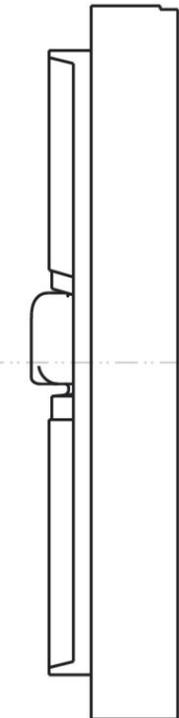
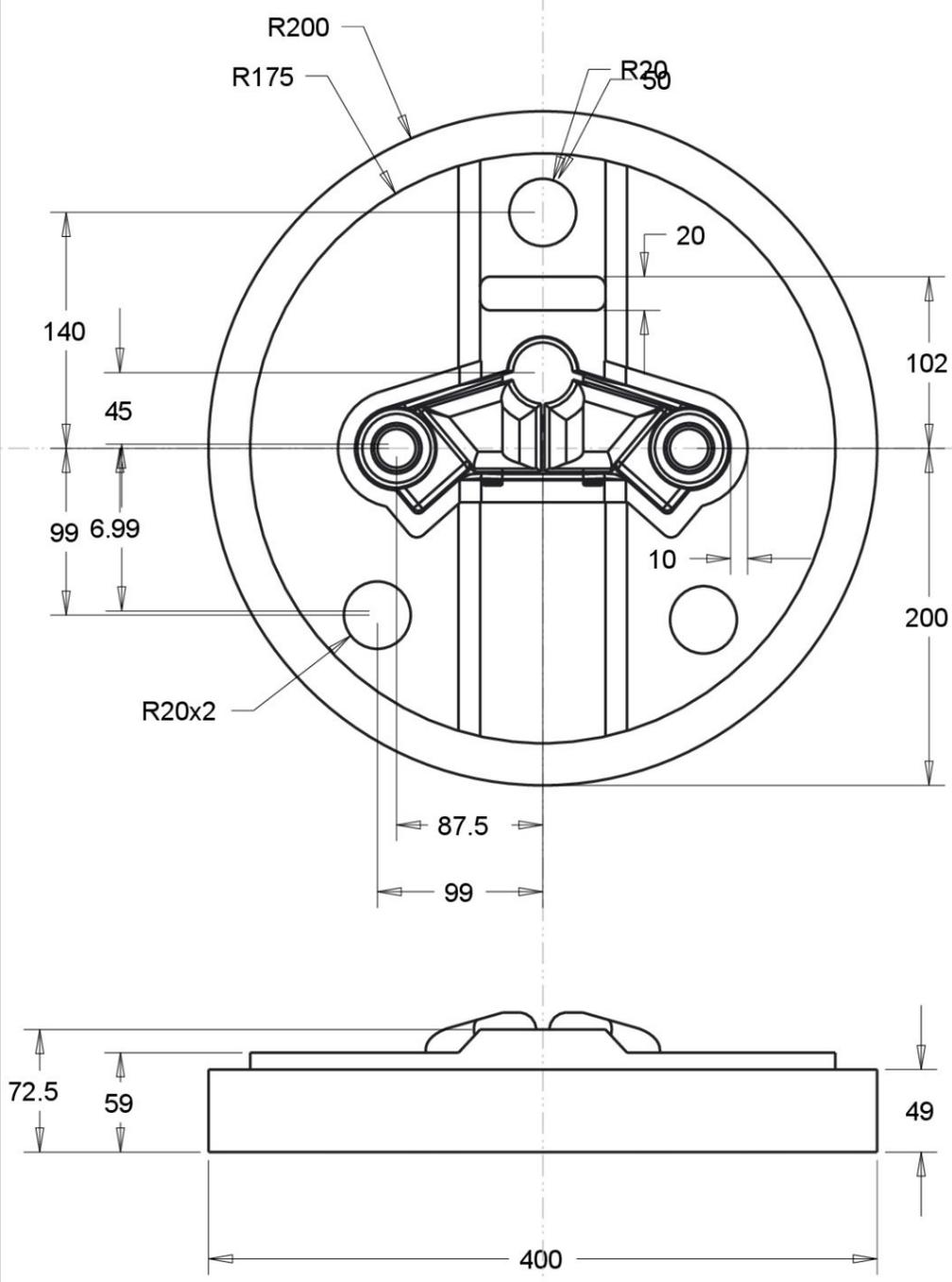


SECCIÓN A-A

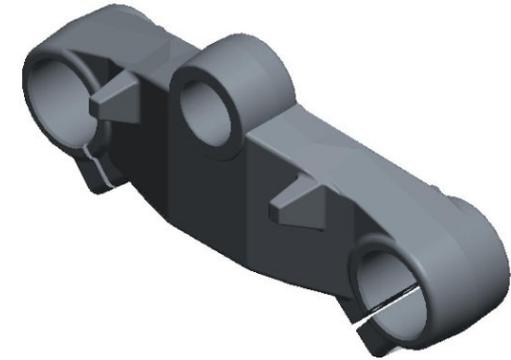
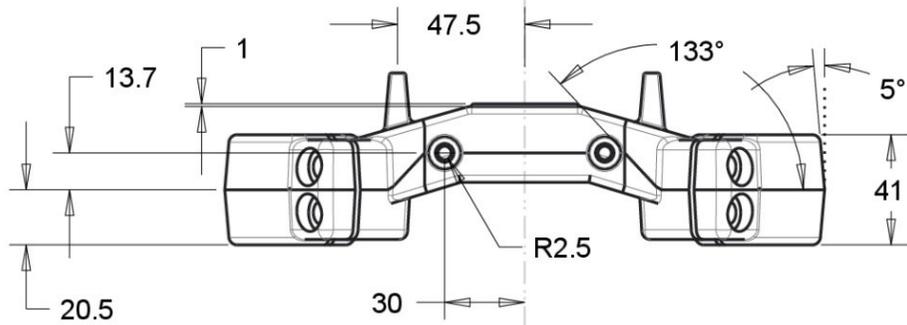
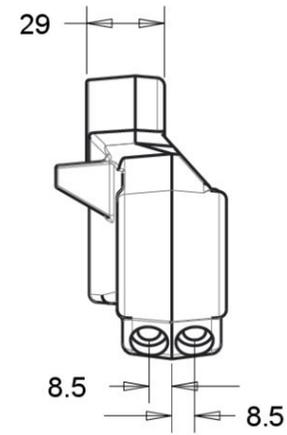
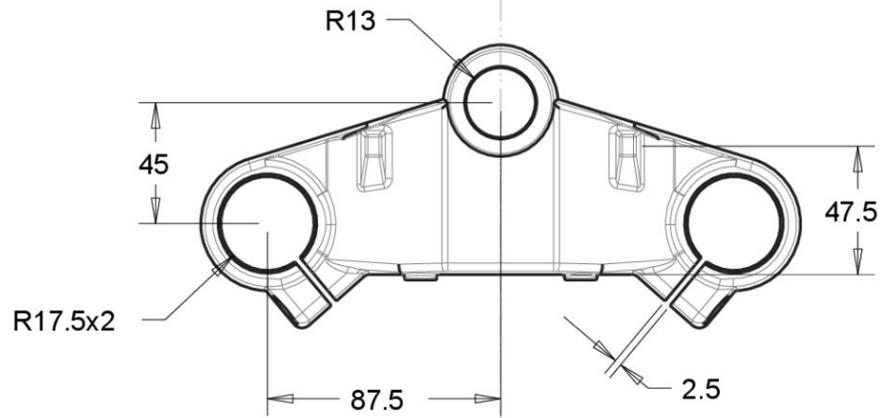


SECCIÓN B-B

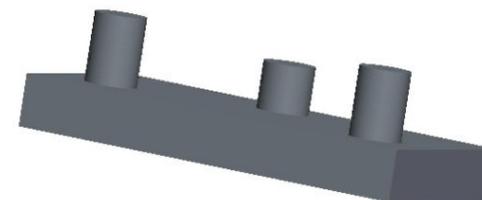
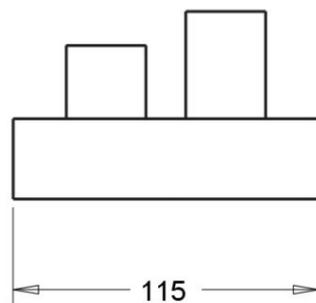
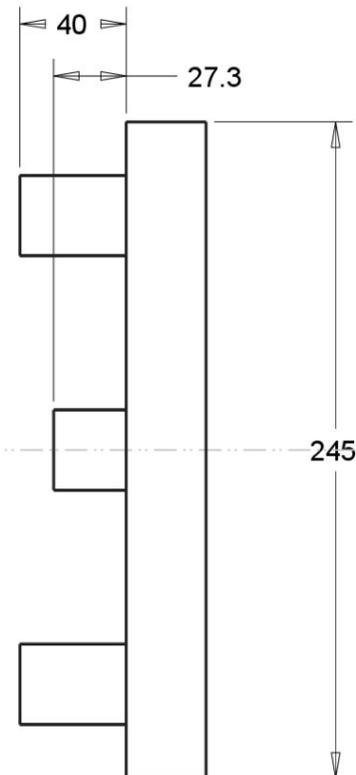
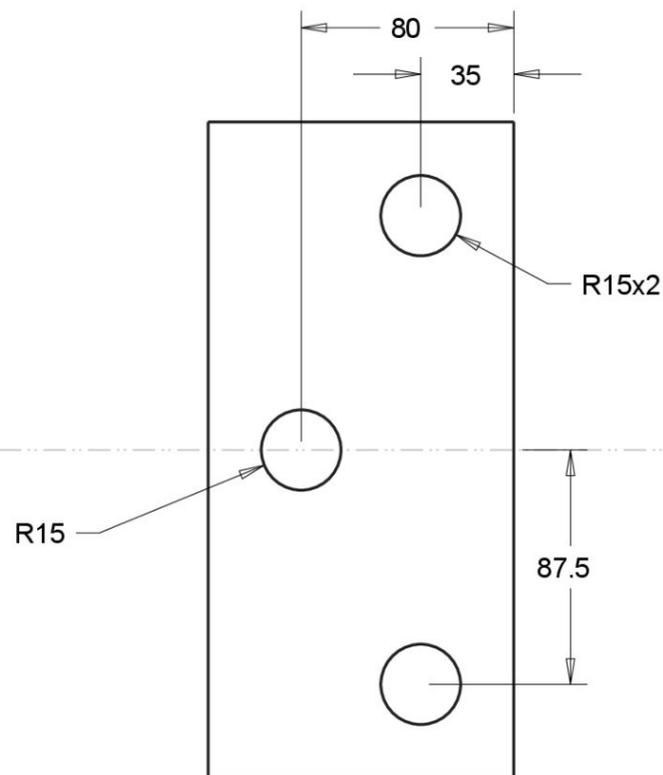
01	Obtener cotas no mostradas en archivo CAD	UNE-EN 586-3	Acero 2344	----	∅ 400x105
Nº	Observaciones	Norma	Material	Marca	Medidas en Bruto
Edición: Yósel Abel Galavis Acosta					Razón Social
Dibujado.	Fecha: Sep-13	Nombre: ----			
Comprobado.	Fecha: Sep-13	Nombre: ----			
Escala: 1:3	Matriz de forja inferior				Tolerancias: ±0.1mm
Unidades: mm					Rugosidad: ----



01	Obtener cotas no mostradas en archivo CAD	UNE-EN 586-3	Acero 2344	---	∅ 400x87
Nº	Observaciones	Norma	Material	Marca	Medidas en Bruto
Edición: Yósbel Abel Galavís Acosta					Razón Social
Dibujado.	Fecha: Sep-13	Nombre: ----			
Comprobado.	Fecha: Sep-13	Nombre: ----			
Escala: 1:3		Matriz de forja superior			Tolerancias: ±0.1mm
Unidades: mm					Rugosidad: ----



01	Obtener cotas no mostradas en archivo CAD		UNE-EN 586-3	AW-6082 T6	----	-----	
Nº	Observaciones	Norma	Material	Marca	Medidas en Bruto		
Edición: Yósbel Abel Galavís Acosta						Razón Social	
Dibujado.	Fecha: Sep-13	Nombre: -----					
Comprobado.	Fecha: Sep-13	Nombre: -----					
Escala: 1:50		Tija Inferior				Tolerancias: ±0.1mm	
Unidades: mm						Rugosidad:-----	



01	-----	-----	Acero	-----	-----
Nº	Observaciones	Norma	Material	Marca	Medidas en Bruto
Edición: Yósbel Abel Galavís Acosta					Razón Social
Dibujado.	Fecha: Sep-13	Nombre	-----		
Comprobado.	Fecha: Sep-13	Nombre	-----		
Escala: 1:50		Punzón de corte			Tolerancias: $\pm 0.2\text{mm}$
Unidades: mm					Rugosidad: ----

