

Rediseño y Optimización Topológica de una Mangueta de Automóvil mediante Ingeniería Inversa y Criterios de Sostenibilidad

Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos. 2025/2026

ETSIADI, Universitat Politècnica de Valencia (UPV)



Autor: Alejandro Cuartero Molina

Tutor: Andrés Conejero Rodilla

ÍNDICE GENERAL DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO

Memoria	13
Pliego de Condiciones.....	194
Presupuesto	211
Planimetría	221

2.2 Índice de Figuras e Imágenes

Imagen 1- Ford Focus Active 2021 (Ford España)	20
Imagen 2 - Sistema de suspensión McPherson (IAD, Instituto de Automovilismo Deportivo)	21
Imagen 3 - Mangueta de Dirección (SHAUTOparts).....	22
Imagen 4 - Escáner 3D EinScan Pro HD (Elaboración Propia)	30
Imagen 5 - Mazda Mazda3 Hatchback 2019 (km77.com)	33
Imagen 6 - Mangueta Delantera Derecha Mazda Mazda3 (Autodoc)	33
Imagen 7- Honda Civic mk10 (motor.es).....	36
Imagen 8 - Mangueta Delantera Izquierda Honda Civic (Autodoc)	36
Imagen 9 - Toyota Corolla 2024 (CarAndDriver).....	38
Imagen 10 - Mangueta Delantera Izquierda Toyota Corolla 2024 (AutoParts24).....	38
Imagen 11 - Skoda Octavia (Grupo Avisa)	
Imagen 12 - Volkswagen Golf (Coches.com).....	40
Imagen 13 - Seat Leon (Grup Lesseps)	40
Imagen 14 - Mangueta Delantera Izquierda Plataforma VAG (Autodoc)	40
Imagen 15 - Tesla Model 3 2017-2023 (CarAndDriver)	43
Imagen 16 - 3D Mangueta Model 3 (Tesla Service)	
Imagen 17 - Mangueta Delantera Model 3 (Tesla Service)	43
Imagen 18 - 3D Trasera Model 3 (Tesla Service)	
Imagen 19 - Trasera Model 3 (Tesla Service).....	45
Imagen 20 - Porsche Cayenne 958 mk2 2011-2018 (Maessen Sportscars) 46	
Imagen 21 - Mangueta Porsche Anverso (Rosepassion)	
Imagen 22 - Mangueta Porsche Reverso (Rosepassion)	46
Imagen 23 - Porsche 911 997 2004-2012 (Efferspot)	48
Imagen 24 - Mangueta Delantera Porsche 911 997 (Autodoc)	48
Imagen 25 - Audi A4 2007-2011 (Autoscout)	
Imagen 26 - Audi A5 2007-2011 (El Mundo)	50
Imagen 27 - Audi Q5 2008-2012 (CarAndDriving)	50
Imagen 28 - Mangueta Delantera Audi A4, A5, Q5 (Autodoc)	50
Imagen 29 - Lamborghini Urus 2018 (Lamborghini)	52
Imagen 30 - Mangueta Delantera Derecha Lamborghini Urus (Autodoc) ...	52
Imagen 31 - Ford Focus C-Max (Auto123)	54
Imagen 32 - Mangueta Ford Focus C-Max (Autodoc)	54
Imagen 33 - Conjunto de Mangueta de Desguace (Elaboración Propia)	63
Imagen 34 - Pinza de Freno del Soporte de Pinza (Elaboración Propia)	64
Imagen 35 - Portapinzas desacoplado de la mangueta (Elab. Propia)	65
Imagen 36 - Alojamiento Sensor ABS en la mangueta (Elab. Propia)	65
Imagen 37 - Sensor ABS desconectado de la mangueta (Elab. Propia).....	66

Imagen 38 - Disco de Freno extraído del conjunto de la mangueta (Elaboración Propia)	66
Imagen 39 - Extracción Chapa Protectora del Disco de Freno (Elaboración Propia)	67
Imagen 40 - Buje extraído de la mangueta (Elaboración Propia)	68
Imagen 41 - Rodamiento integrado a presión en la mangueta (Elaboración Propia)	68
Imagen 42 - Mangueta Limpia (Anverso) (Elaboración Propia)	69
Imagen 43 - Mangueta Limpia (Reverso) (Elaboración Propia)	69
Imagen 44- Acondicionamiento superficial previo al escaneo 3D (Elaboración Propia)	70
Imagen 45 - Acabado superficial: Preparación para al escaneo 3D (Elaboración Propia)	70
Imagen 46 - Soporte Rotatorio Escáner EinScan Pro HD (Elab. Propia)	71
Imagen 47 - Proceso Manual de Escaneado de la Mangueta (Elaboración Propia)	71
Imagen 48 - Escaneado Manual del Anverso de la Mangueta (Elaboración Propia)	72
Imagen 49 - Nube de Puntos del Reverso de la Mangueta en EXScan (Elaboración Propia)	72
Imagen 50 - Nube de Puntos del Anverso de la Mangueta en EXScan (Elaboración Propia)	73
Imagen 51 - Limpieza Nube de Puntos en EXScan (Elaboración Propia)	73
Imagen 52 - Malla Anverso Mangueta (Elaboración Propia)	74
Imagen 53 - Malla Anverso de la Mangueta (Vista de Perfil) (Elaboración Propia)	74
Imagen 54 - Malla Reverso de la Mangueta (Elaboración Propia)	74
Imagen 55 - Malla Reverso de la Mangueta (Vista de Perfil) (Elaboración Propia)	74
Imagen 56 - Muestra de la Densidad de la Malla tras el Escaneado 3D (Elaboración Propia)	75
Imagen 57 - Malla unificada y superpuesta de la mangueta (Elaboración Propia)	75
Imagen 58 - Proceso de Importación de la Malla en Autodesk Fusion (Elaboración Propia)	76
Imagen 59 - Muestra de Problemas de Alineación con el Origen del Eje de Coordenadas (Elaboración Propia)	76
Imagen 60 - Proceso de Alineación de la Malla – Definición Plano XY (Elaboración Propia)	77
Imagen 61 - Proceso de Alineación de la Malla – Definición Plano XZ (Elaboración Propia)	77

Imagen 62 - Proceso de Alineación de la Malla – Herramienta Alinear (Elaboración Propia)	78
Imagen 63 - Proceso de Alineación de la Malla – Malla Alineada y Centrada (Elaboración Propia)	79
Imagen 64 - Modelado CAD – Obtención Perfil del Buje (Elab. Propia)	80
Imagen 65 - Modelado CAD – Obtención del Buje mediante Revolución (Elaboración Propia)	81
Imagen 66 - Modelado CAD – Extrusión Anclajes/Orejetas Pinzas de Freno (Elaboración Propia)	82
Imagen 67 - Modelado CAD – Extrusión Geometría de Soporte (Elaboración Propia)	82
Imagen 68 - Modelado CAD – Boceto Brazos de la Pinza de Frenos (Elaboración Propia)	83
Imagen 69 - Modelado CAD – Extrusión Brazos de la Pinza de Frenos (Elaboración Propia)	83
Imagen 70 - Modelado CAD – Anclajes de la Chapa Protectora del Disco (Elaboración Propia)	84
Imagen 71 - Modelado CAD – Extrusión Brazo de Dirección (Elaboración Propia)	84
Imagen 72 - Modelado CAD – Intersección y Obtención del Brazo de Dirección (Elaboración Propia)	85
Imagen 73 - Modelado CAD – Mecanizado Anclaje de Dirección (Elaboración Propia)	85
Imagen 74 - Modelado CAD – Transición Orgánica del Brazo de Dirección (Elaboración Propia)	85
Imagen 75 - Modelado CAD – Extrusión Vaciado del Brazo de Dirección (Elaboración Propia)	86
Imagen 76 - Modelado CAD – Extrusión Rótula Inferior (Elab. Propia)	86
Imagen 77 - Modelado CAD – intersección Rótula Inferior (Elaboración Propia)	87
Imagen 78 - Modelado CAD – Optimización Rótula Inferior (Elaboración Propia)	87
Imagen 79 - Modelado CAD – Operación de Corte Transversal Anclajes Rótula Inferior (Elaboración Propia)	88
Imagen 80 - Modelado CAD – Operación de Corte Longitudinal Anclajes Rótula Inferior (Elaboración Propia)	88
Imagen 81 - Modelado CAD - Operación S elevación Brazo de Suspensión (Elaboración Propia)	89
Imagen 82 - Modelado CAD – S elevación Brazo de Suspensión (Elaboración Propia)	89

Imagen 83 - Modelado CAD – Anclajes del Brazo de Suspensión (Elaboración Propia)	90
Imagen 84 - Modelado CAD – Optimización Topológica Leve en Anclaje del Brazo de Suspensión (Elaboración Propia)	90
Imagen 85 - Modelado CAD – Corte de Anclajes del Brazo de Suspensión (Elaboración Propia)	91
Imagen 86 - Modelado CAD – Extrusión Alojamiento Sensor ABS (Elaboración Propia)	91
Imagen 87 - Modelado CAD –Alojamiento Sensor ABS (Elab. Propia)	92
Imagen 88 - Modelado CAD – Mecanizado de Anclaje en Alojamiento Sensor ABS (Elaboración Propia)	92
Imagen 89 - Modelado CAD – Geometría Adicional y Nervios en los Brazos de Pinza (Elaboración Propia).....	93
Imagen 90 - Modelado CAD – Digitalizado de Transiciones Orgánicas Finales (Elaboración Propia)	94
Imagen 91 - Modelado CAD – Vaciado en “U” Brazo de Suspensión (Elaboración Propia)	94
Imagen 92 - Modelado CAD – Vaciado Brazo de Dirección (Elaboración Propia)	95
Imagen 93 - Modelado CAD – Vaciado Rótula Inferior (Elaboración Propia)	95
Imagen 94 - Modelado CAD – Hendiduras Esféricas Brazos de Pinza (Elaboración Propia)	95
Imagen 95 - Modelado CAD Mangueta Original (Anverso) (Elaboración Propia)	96
Imagen 96 - Modelado CAD Mangueta Original (Reverso) (Elaboración Propia)	96
Imagen 97 - Propiedades del Modelado CAD Mangueta (Elab. Propia)	97
Imagen 98 - Extracción de la Masa del Ford Focus Active 2021 (Ford)	98
Imagen 99 - Ejemplo de Socavón. Caso de Bache en Rodadura (MOTOR EL País).....	102
Imagen 100 - Esquema Cabeceo Vehículo (ResearchGate)	102
Imagen 101 - Esquema Transferencia Lateral Vehículo (MotoIQ)	103
Imagen 102 - Mazda MX-5 Miata Transferencia de Pesos en Giro	103
Imagen 103 - Diagrama de Cargas y Esfuerzos: Frenado Máximo (Elaboración Propia)	104
Imagen 104 - Análisis Avance del Vehículo y Giro de las Ruedas (Adventure52 + Edición Propia)	105
Imagen 105 - Dirección y Sentido de las Fuerzas de Frenado (Elaboración Propia)	106
Imagen 106 - Diagrama de Cargas y Esfuerzos: Giro Máximo (Elaboración Propia)	107

Imagen 107 - Diagrama de Cargas y Esfuerzos: Bache Máximo (Elaboración Propia)	109
Imagen 108 - Diagrama de Cargas y Esfuerzos:.....	110
Imagen 109 - Diagrama de Cargas y Esfuerzos:.....	111
Imagen 110 - Diagrama de Cargas y Esfuerzos: Caso Combinado (Elaboración Propia)	112
Imagen 111 - Definición de Restricciones Autodesk Fusion (Elaboración Propia)	114
Imagen 112 - Entorno de Simulación en Autodesk Fusion (Elaboración Propia)	115
Imagen 113 - Definición Tipo de Estudio - Simulación en Fusion	116
Imagen 114 - Definición Material de Diseño - Simulación en Autodesk Fusion (Elaboración Propia)	116
Imagen 115 - Propiedades del Acero (Material Mangueta Original) (Elaboración Propia)	116
Imagen 116 - Propiedades del Acero (Material Mangueta Original)	117
Imagen 117 - Resumen de Resultados – Frenado Máximo	119
Imagen 118 - Von Mises – Frenado Máximo (Propia)	
Imagen 119 - FOS – Frenado Máximo (Propia)	119
Imagen 120 - Resumen de Resultados – Giro Máximo	121
Imagen 121 - Von Mises – Giro Máximo (Propia)	
Imagen 122 - FOS – Giro Máximo (Propia)	121
Imagen 123 - Resumen de Resultados – Bache Máximo	123
Imagen 124 - Von Mises – Bache Máximo (Propia)	
Imagen 125 - FOS – Bache Máximo (Propia)	123
Imagen 126 - Von Mises – Frenado En Curva(Propia)	
Imagen 127 - FOS – Frenado En Curva (Propia)	125
Imagen 128 - Singularidad Pico de Tensión – Frenado En Curva (Elaboración Propia)	126
Imagen 129 - Von Mises – Bache En Curva (Propia)	
Imagen 130 - FOS – Bache En Curva(Propia)	127
Imagen 131 - Singularidad Pico de Tensión – Bache En Curva (Elaboración Propia)	128
Imagen 132 - Von Mises – Caso Combinado (Propia)	
Imagen 133 - FOS – Caso Combinado(Propia)	129
Imagen 134 - Desplazamiento de la Mangueta – Caso Combinado (Elaboración Propia)	129
Imagen 135 - Singularidad Pico de Tensión – Caso Combinado (Elaboración Propia)	130
Imagen 136 - Singularidad Inspeccionada mediante Punto de Sonda (Elaboración Propia)	131

Imagen 137 - Restricciones Geométricas del Rediseño (Elab. Propia)	134
Imagen 138 - Concepto Rediseño A (Elaboración Propia)	135
Imagen 139 - Concepto Rediseño B (Elaboración Propia)	136
Imagen 140 - Concepto Rediseño C (Elaboración Propia)	137
Imagen 141 - Concepto Rediseño D (Elaboración Propia)	138
Imagen 142 - Concepto Rediseño E y F (Elaboración Propia)	139
Imagen 143 - Concepto Rediseño G (Elaboración Propia)	140
Imagen 144 - Concepto Rediseño H (Elaboración Propia)	141
Imagen 145 - Concepto Rediseño I y J (Elaboración Propia)	142
Imagen 146 - Diseño Original (Encuesta de Usuarios) (Elab. Propia)	145
Imagen 147 - Diseño C (Encuesta de Usuarios) (Elaboración Propia)	146
Imagen 148 - Diseño G (Encuesta de Usuarios) (Elaboración Propia)	146
Imagen 149 - Estructura Base – Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)	150
Imagen 150 - Croquis 3D Inferior Cuerpo – Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)	151
Imagen 151 - Croquis 3D Superior Cuerpo – Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)	151
Imagen 152 - Superficies Cuerpo – Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)	152
Imagen 153 - Geometría del Cuerpo – Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)	152
Imagen 154 - Costura de las Superficies del Cuerpo – Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)	153
Imagen 155 - Cuerpo en Formato Sólido – Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)	153
Imagen 156 - Radios de Acuerdo en el Cuerpo de la Mangueta– Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)	154
Imagen 157 - Geometría de la Rótula Inferior – Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)	155
Imagen 158 - Mecanizado de anclajes de la Suspensión– Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)	155
Imagen 159 - Revolución del Alojamiento del Rodamiento del Buje #1 - Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)	156
Imagen 160 - Vaciados Estructurales #1 - Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)	157
Imagen 161 - Vaciados Estructurales en Detalle - Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)	157
Imagen 162 - Resultado Final Modelado CAD - Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)	158
Imagen 163 - Renderizado Mangueta Rediseñada (Elaboración Propia) ..	159

Imagen 164 - Renderizado Mangueta Lateral (Elaboración Propia)	160
Imagen 165 - Renderizado Mangueta Planta (Elaboración Propia)	161
Imagen 166 - Von Mises – Rediseño (Propia)	
Imagen 167 - FOS – Rediseño (Propia)	163
Imagen 168 - Desplazamiento – Rediseño (Elaboración Propia)	163
Imagen 169 - Singularidad Pico de Tensión – Rediseño (Elab. Propia)	164
Imagen 170 - Justificación Masa - Rediseño (Elaboración Propia)	166
Imagen 171 - ODS 9 (Pactomundial.org).....	167
Imagen 172 - ODS 12 (Pactomundial.org).....	167
Imagen 173 - ODS 13 (Pactomundial.org).....	167
Imagen 174 - Asimetría entre Mangueta Derecha e Izquierda.....	180
Imagen 175 - Diferencia de Zonas Estructurales e Interfaces Críticas (Acabado Superficial) (Elaboración Propia)	184

2.3 Índice de Tablas

Tabla 1- Matriz Comparativa Competidores Segmento C #1	57
Tabla 2 - Matriz Comparativa Competidores Segmento C #2.....	58
Tabla 3 - Matriz Comparativa Deportivos y SUV Alta Gama #1	58
Tabla 4 - Matriz Comparativa Deportivos y SUV Alta Gama #2	59
Tabla 5 - Matriz Comparativa Evolución Histórica Ford Focus #1	59
Tabla 6 - Matriz Comparativa Evolución Histórica Ford Focus #2	59
Tabla 7 - Cargas y Esfuerzos: Frenado Máximo.....	104
Tabla 8 - Cargas y Esfuerzos: Giro Máximo.....	107
Tabla 9 - Cargas y Esfuerzos: Bache Máximo	109
Tabla 10 - Cargas y Esfuerzos: Frenado Máximo en Giro Máximo	110
Tabla 11 - Cargas y Esfuerzos: Bache Máximo en Giro Máximo.....	111
Tabla 12 - Cargas y Esfuerzos: Resumen	112
Tabla 13 - Resumen de Resultados – Giro Máximo	121
Tabla 14 - Resumen de Resultados – Bache Máximo	123
Tabla 15 - Resumen de Resultados – Frenado En Curva.....	125
Tabla 16 - Resumen de Resultados – Bache En Curva	127
Tabla 17 - Resumen de Resultados – Caso Combinado	129
Tabla 18 - Criterios y Pesos de Selección	143
Tabla 19 - Criterio de Selección de Conceptos	144
Tabla 20 - Resultados Principales Encuestas de Usuarios	147
Tabla 21 - Selección Final de la Propuesta.....	149
Tabla 22 - Resumen de Resultados – Bache En Curva	163
Tabla 23 - Comparativa Final Original y Rediseño	165
Tabla 24 - Masas y Reducciones	172
Tabla 25 - Escenarios de Efecto Acumulativo en Ahorro de Combustible	173
Tabla 26 - Emisiones de CO2 evitadas acumuladas en la fase de uso del vehículo.	174
Tabla 27 - Fuerzas aplicadas al Ensayo Destructivo por Fatiga	207
Tabla 28 - Presupuesto de Desarrollo de la Ingeniería de Producto.....	213
Tabla 29 - Presupuesto de Fabricación Unitaria	215
Tabla 30 - Presupuesto de la Maquinaria Principal	216
Tabla 31 - Presupuesto del Utillaje y Herramientas	218

RESUMEN

Planteamiento del problema y propuesta

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado consiste en el rediseño y la optimización de la mangueta delantera derecha de un vehículo comercial (Ford Focus Active 2021), un componente crítico en automoción relacionado directamente con los sistemas de suspensión, dirección y frenado. La estrategia central de este proyecto aborda un triple impacto: dinámico, económico y medioambiental.

En primer lugar, se busca reducir el exceso de masa no suspendida, factor determinante en el comportamiento dinámico y la calidad de rodadura del vehículo, mediante una optimización topológica que sustituya la configuración ineficiente de la pieza original por una estructura aligerada y más eficiente. En segundo lugar, se persigue que dicha optimización simplifique el volumen de material empleado para concebir una pieza final que requiera menos recursos en su fabricación y resulte competitiva a nivel de producción en serie. Por último, bajo un estricto criterio de sostenibilidad, el proyecto cuantifica el impacto real del aligeramiento en la eficiencia energética del vehículo, estimando el ahorro de combustible y la reducción directa de emisiones de carbono asociadas a la pérdida de masa de la mangueta.

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado no se limita al rediseño mecánico de la mangueta delantera derecha del vehículo, sino que se aborda desde una perspectiva de diseño de producto. La optimización no solo atiende a criterios funcionales, sino también a la configuración formal de la pieza, su lenguaje geométrico y su integración dentro del conjunto del vehículo, así como a su viabilidad de fabricación.

Metodología Simplificada

Para llevar a cabo la optimización planteada de la mangueta y dar respuesta al triple impacto propuesto, se define un flujo de trabajo estructurado en cuatro fases consecutivas:

- **Fase 1: Adquisición y Digitalización 3D**

El proceso comienza con la adquisición y preparación de la mangueta original. Posteriormente, mediante escaneado 3D, se obtiene una malla poligonal en formato STL que reproduce la geometría real del componente.

- **Fase 2: Ingeniería Inversa y Parametrización CAD**

A partir de la malla STL, se reconstruye el modelo CAD paramétrico de la mangueta, identificando y definiendo las zonas críticas de la mangueta.

- **Fase 3: Simulaciones y Análisis Estructural**

Con el modelo CAD finalizado, se simula la mangueta bajo esfuerzos de distintas hipótesis dinámicas. El estudio permite identificar concentraciones de tensiones y zonas potencialmente sobredimensionadas.

- **Fase 4: Rediseño, Optimización, Validación y Evaluación de Sostenibilidad**

Basándose en los resultados de la simulación, así como en un estudio de mercado y una exploración conceptual de potenciales diseños de manguetas, se desarrolla un rediseño optimizado. Finalmente, el nuevo diseño se valida mediante simulaciones bajo las mismas hipótesis dinámicas que la mangueta original y se evalúa su impacto en términos de eficiencia energética y reducción de emisiones.

Resultados Clave

Tras aplicar la metodología descrita, se obtiene una mangueta completamente rediseñada, respetando las restricciones dimensionales y funcionales establecidas. El nuevo diseño logra una reducción de masa de aproximadamente 2100 g, lo que supone un ahorro del 33,3 % respecto al componente original, manteniendo un factor de seguridad superior al mínimo aceptable en aplicaciones de automoción ($FOS > 2$). Además, se estima un ahorro de aproximadamente 29 L de combustible a lo largo de la vida útil del vehículo, así como una reducción estimada de 73,4 kg de CO_2 asociados tanto al proceso de fabricación como al uso estimado del Ford Focus Active 2021 por vehículo.

Palabras Clave

Rediseño. Optimización. Topología. Mangueta de Dirección. Automóvil. Modelado CAD. Simulación.

Memoria:

Rediseño y Optimización Topológica de una Mangueta de Automóvil mediante Ingeniería Inversa y Criterios de Sostenibilidad

Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos. 2025/2026

ETSIADI, Universitat Politècnica de Valencia (UPV)



Autor: Alejandro Cuartero Molina

Tutor: Andrés Conejero Rodilla

1. ÍNDICE DE CONTENIDOS DE LA MEMORIA

2. INTRODUCCIÓN.....	20
2.1. Selección del Vehículo de Estudio	20
2.2. Sistemas de Suspensión en Automoción	21
2.3. Función Estructural de la Mangueta.....	22
2.4. Importancia de la Masa No Suspendida en la Dinámica del Vehículo	23
2.5. Problema del Sobredimensionamiento en Piezas de Forja Originales.....	24
2.6. Tendencias Actuales en Materiales y Optimización.....	24
2.6.1. Sustitución de materiales	24
2.6.2. Optimización Topológica y Geométrica	25
2.6.3. Enfoque de Diseño del Proyecto	25
3. OBJETIVOS	26
3.1. Objetivo Principal	26
3.2. Objetivos Específicos.....	26
4. RESUMEN METODOLÓGICO DEL PROYECTO.....	28
4.1. Diagrama de Flujo del Proceso Global	28
4.2. Justificación de las Herramientas de Software y Hardware Seleccionadas	30
4.2.1 Hardware de digitalización.....	30
4.2.2. Software de adquisición y postprocesado	30
4.2.3. Software de Diseño Asistido por Ordenador CAD	31
4.2.4. Software de Simulación y Análisis por Elementos Finitos (FEA) ...	31
5. ESTUDIO DE MERCADO Y BENCHMARKING	32
5.1. Competidores directos.....	32
5.1.1 Mangueta Mazda 3	33

5.1.2 Mangueta Honda Civic mk10	36
5.1.3 Mangueta Toyota Corolla 2024.....	38
5.1.4 Mangueta Skoda Octavia, Volkswagen Golf, Seat Leon (Uso General Grupo VAG).....	40
5.2. Vehículos del segmento premium.....	43
5.2.1 Mangueta Tesla Model 3 2017-2023	43
5.2.2 Mangueta Porsche Cayenne 958 2011-2018	46
5.2.3 Mangueta Porsche 911 997 2004-2012	48
5.2.4 Mangueta Audi A4 2007- 2011, Audi A5 2007-2011, Audi Q5 2008-2012.....	50
5.3. Análisis Evolución Mangueta Ford Focus.....	54
5.4. Tendencias tecnológicas observadas	56
5.5. Matriz comparativa final de soluciones industriales.....	57
5.5.1. Matriz comparativa final de Competidores del Segmento C	57
5.5.2. Matriz comparativa final de Deportivos Y SUV de Alta Gama	58
5.5.3. Matriz comparativa Evolución Histórica Ford Focus.....	59
5.5.4. Conclusiones Estudio de Mercado.....	60
5.5.4. Adaptación de Soluciones al Rediseño	61
6. ADQUISICIÓN DE LA PIEZA Y DIGITALIZACIÓN 3D	62
6.1. Diagrama de Procedimiento de Digitalización 3D de la Mangueta.....	62
6.2. Proceso Inicial: Adecuación de la Pieza	63
6.2.1 Adquisición Mangueta Delantera Ford Focus en Desguace	63
6.2.2 Desmontaje	64
6.2.2.1. Desacoplado de las Pinzas de Freno	64
6.2.2.2. Desacoplado del Soporte de las Pinzas de Freno	64
6.2.2.3. Desconexión del Sensor ABS.....	65

6.2.2.4. Desacople del Disco de Freno	66
6.2.2.5. Extracción de la Chapa Protectora del Disco.....	67
6.2.2.6. Extracción del Buje de la Mangueta	67
6.2.2.7. Extracción del Rodamiento del Buje	68
6.2.2.8. Limpieza final de la Mangueta.....	69
6.3. Tratamiento de superficies y procesos previos al escaneo.....	70
6.4. Proceso de Escaneado 3D	71
6.5. Procesamiento de la malla.....	74
7. INGENIERÍA INVERSA Y MODELADO CAD DE LA MANGUETA ORIGINAL.....	76
7.1. Importación y alineación de la malla STL en Autodesk Fusion	76
7.2. Modelado CAD de la Mangueta en Autodesk Fusion.....	80
7.2.1. Definición del Buje	80
7.2.2. Definición de las Orejetas de las Pinzas de Freno	81
7.2.3. Definición de Geometría de Soporte y Nexo de Unión con el Buje.	82
7.2.4. Extrusión de Brazos de la Pinza.....	83
7.2.5. Corte de Anclajes de la Chapa Protectora del Disco	84
7.2.6. Obtención del Brazo de Dirección.....	84
7.2.7. Obtención de la Rótula Inferior	86
7.2.8. Definición del Brazo de Suspensión.....	89
7.2.9. Alojamiento del Sensor ABS	91
7.2.10. Geometría Adicional y Nervaduras	93
7.2.11. Redondeos y Transiciones Orgánicas	93
7.2.12. Optimizaciones Topológicas Adicionales	94
7.3. Obtención del modelo CAD sólido final de la pieza de desguace	96
7.4. Propiedades y Características Principales del modelo CAD	97

8. DEFINICIÓN DE CARGAS Y ESFUERZOS	98
8.1. Modelización matemática y transferencia de pesos en el vehículo	98
8.2. Hipótesis cinemáticas y simplificaciones del modelo	99
8.3. Justificación de los coeficientes dinámicos en automoción	101
8.4. Desarrollo y cálculo numérico de los Casos de Carga:	104
8.4.1. Frenado máximo	104
8.4.2. Giro máximo	107
8.4.3. Bache máximo	109
8.4.4. Frenado máximo en curva	110
8.4.5. Bache máximo en curva	111
8.4.6. Caso combinado	112
8.5. Definición de restricciones de contorno	114
9. SIMULACIÓN FEA Y DIAGNÓSTICO DE LA MANGUETA ORIGINAL	115
9.1. Preparación de la Simulación y Propiedades del Material Original	115
9.2. Expectativas de resultados del modelo original	118
9.2.1 Análisis de resultados Simulación Frenado Máximo	119
9.2.2 Análisis de resultados Simulación Giro Máximo	121
9.2.3 Análisis de resultados Simulación Bache Máximo	123
9.2.4 Análisis de resultados Simulación Frenado en Curva	125
9.2.5 Análisis de resultados Simulación Bache en Curva	127
9.2.6 Análisis de resultados Simulación Caso Combinado	129
9.3. Singularidades Descartadas de la Simulación	131
9.4. Diagnóstico crítico del diseño	132
10. PROCESO DE REDISEÑO DE LA MANGUETA	133
10.1. Definición del espacio de diseño y restricciones geométricas	133

10.2. Bocetado Conceptual de Propuestas de Diseño	135
10.3. Selección de Potenciales Conceptos de Rediseño	143
10.3.1 Encuestas a Usuarios	145
10.3.2. Selección de la Propuesta Final	149
10.4. Modelado CAD paso a paso de la nueva geometría optimizada.....	150
10.5. Renders y acabado estético del nuevo componente.....	159
11. VALIDACIÓN ESTRUCTURAL DEL REDISEÑO	162
11.1. Configuración de la Simulación	162
11.2. Simulación y Análisis de Resultados	163
11.3. Tabla comparativa Final	165
12. ESTUDIO DE VIABILIDAD AMBIENTAL	167
12.1. Introducción y ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible)	167
12.2 Consideraciones previas al Estudio de Viabilidad Ambiental.....	168
12.2.1. Relación entre masa y consumo energético	168
12.2.2 Escenarios de Ahorro Energético	169
12.3. Supuestos del Modelo de Cálculo.....	171
12.4. Aplicación del Modelo y Cálculo del Impacto Energético	172
12.5. Discusión de Resultados desde la Perspectiva de Diseño.....	173
12.6. Estimación de las emisiones de CO2 evitadas en la fase de uso.....	174
12.7. Impacto Ambiental Asociado a la Fabricación del Material.....	174
13. ESTUDIO DE IMPACTO ECONÓMICO.....	176
14. JUSTIFICACIÓN DEL DISEÑO FINAL DE LA MANGUETA DELANTERA DERECHA	
.....	178
14.1. Descripción de la Solución Adoptada	178
14.2. Justificación de las modificaciones geométricas principales	179

14.3. Factor Humano, Ergonomía y Diseño para el Montaje.....	180
15. CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS	182
15.1. Conclusiones respecto a la reducción de masa y seguridad	182
15.2. Conclusiones sobre la viabilidad del cambio de material.....	184
15.3. Futuras líneas de Trabajo.....	186
16. Bibliografía y Referencias	188
16.1 Bibliografía	188
16.2 Referencias	190

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Selección del Vehículo de Estudio

El vehículo seleccionado para este estudio es el Ford Focus Active 2021 (1.0 EcoBoost 125cv) debido a su relevancia dentro del segmento C europeo, uno de los mercados con mayor volumen de ventas y producción en la industria automotriz. El Ford Focus ha sido históricamente uno de los modelos más comercializados de su categoría (líder en ventas en España en 2008, según datos de ANFAC y GANVAM), destacando por su equilibrio entre comportamiento dinámico, confort y coste de fabricación.

Además, la plataforma del Focus incorpora soluciones técnicas ampliamente utilizadas en vehículos del segmento, como la suspensión delantera independiente tipo McPherson, lo que convierte a su mangueta de dirección en un caso de estudio especialmente relevante desde el punto de vista industrial. De esta forma, las conclusiones obtenidas en este proyecto pueden trasladarse a otros vehículos compactos de arquitectura similar.

Asimismo, la disponibilidad de información técnica, referencias y documentación comercial del modelo facilita el desarrollo y validación del proceso de rediseño planteado.



Imagen 1- Ford Focus Active 2021 (Ford España)

2.2. Sistemas de Suspensión en Automoción

El sistema de suspensión de un automóvil es el conjunto de componentes y elementos mecánicos encargado de mantener el contacto entre las ruedas y el chasis del vehículo. Su principal función es absorber y mitigar las irregularidades de la calzada con el objetivo de garantizar la estabilidad del vehículo durante la conducción, reduciendo las vibraciones y mejorando la adherencia al asfalto. Se trata de un componente mecánico clave en la arquitectura de un automóvil en cuanto a comodidad y seguridad activa.

Los sistemas actuales de suspensión se dividen de forma general en suspensiones de eje rígido (Habitualmente sistemas más simples), independientes (En el que cada rueda se mueve de manera independiente a la otra de su eje), de doble horquilla y multibrazo.

A lo largo de este proyecto, nos centraremos en el segmento C de la industria del automóvil, específicamente en el Ford Focus Active 2021, cuyo eje delantero emplea la suspensión independiente de tipo McPherson. Este sistema destaca por su excelente compromiso entre coste de fabricación y prestaciones.

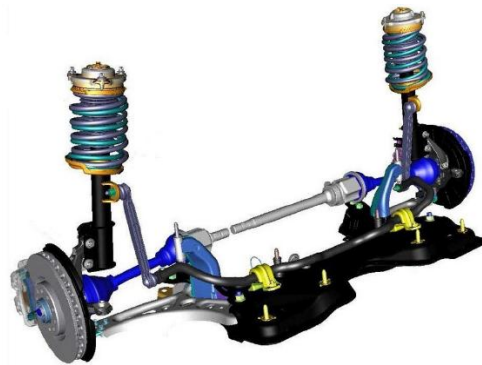


Imagen 2 - Sistema de suspensión McPherson (IAD, Instituto de Automovilismo Deportivo)

La suspensión McPherson utiliza un conjunto muelle-amortiguador telescópico como brazo superior de guiado y componente principal de la suspensión, que permite el movimiento vertical y oscilante de la rueda reduciendo las vibraciones del asfalto. A su vez, está conectado en su extremo inferior a un brazo que controla los desplazamientos laterales y longitudinales. El punto donde se encuentran y se articulan todos estos componentes de guiado, junto con la dirección y el sistema de frenado, es la mangueta.

2.3. Función Estructural de la Mangueta

La mangueta de dirección (steering knuckle en inglés) es el componente que actúa como punto de unión entre la rueda y el chasis del vehículo. Debido a su ubicación, es una pieza que soporta esfuerzos críticos del automóvil durante la conducción.



Imagen 3 - Mangueta de Dirección (SHAutoParts)

Sus funciones principales se pueden desglosar en los siguientes requisitos operativos:

- **Soporte de rodadura:** Alberga de forma concéntrica el rodamiento del buje, permitiendo el giro libre de la rueda.
- **Sistema de Dirección:** Dispone de un brazo de acoplamiento conectado a la dirección que permite orientar la rueda respecto al eje vertical del vehículo.
- **Sistema de suspensión:** Incorpora un brazo en el cual se acopla el sistema de suspensión.
- **Soporte del sistema de frenado:** Integra las orejetas sobre las que se monta la pinza de freno.
- **Transmisión de cargas estructurales:** Absorbe las fuerzas de tracción y frenado, las fuerzas laterales en curva, y los impactos verticales provocados por la carretera e irregularidades del firme.

Por lo tanto, cualquier fallo estructural en este componente compromete de forma crítica la seguridad activa del vehículo, lo que exige unos coeficientes de seguridad de diseño elevados.

Es indispensable conocer todas las funciones de la mangueta para su posterior análisis de esfuerzos. Retomaremos esta información más adelante.

2.4. Importancia de la Masa No Suspendida en la Dinámica del Vehículo

En automoción, la masa total de un vehículo se divide conceptualmente en dos categorías bien diferenciadas:

1. **Masa suspendida m_s :** Incluye todos los componentes soportados por los elementos de la suspensión (chasis, carrocería, motor, habitáculo y pasajeros).
2. **Masa no suspendida m_{ns} :** Comprende los elementos situados entre el suelo y los muelles de la suspensión (ruedas, neumáticos, conjuntos de freno, rodamientos y, de forma directa, la mangueta).

La relación entre ambas masas es un indicador crucial de la calidad de rodadura y el comportamiento dinámico.

$$\frac{m_s}{m_{ns}}$$

Si la masa no suspendida es elevada, el neumático tiene dificultades para recuperar rápidamente el contacto con el asfalto. Esto provoca pérdidas de adherencia y penaliza la capacidad de dirección y frenado. Por el contrario, reducir la masa no suspendida optimiza el sistema de suspensión, permitiendo que la rueda copie el terreno con mayor agilidad y precisión, mejorando sustancialmente el confort y calidad de conducción y la estabilidad direccional en situaciones límite.

2.5. Problema del Sobredimensionamiento en Piezas de Forja Originales

Históricamente, las manguetas de los vehículos se han fabricado mediante procesos de forja de acero. Este proceso otorga al componente una extraordinaria resistencia mecánica y una elevada tenacidad, lo que se traduce en una óptima resistencia a la fatiga ante cargas dinámicas durante la conducción bajo un coste unitario altamente competitivo a gran escala.

Sin embargo, la forja en estampa tradicional impone severas restricciones de manufactura geométrica, tales como la obligatoriedad de incluir ángulos de salida amplios para facilitar la extracción de la pieza de la matriz, radios de acuerdo generosos y, fundamentalmente, la imposibilidad de generar vaciados internos complejos o geometrías esbeltas de forma directa. Como consecuencia, las manguetas originales presentan un acusado sobredimensionamiento morfológico, hipótesis sobre la cual se estructura el presente Trabajo de Fin de Grado.

Esto da lugar a un componente predominantemente macizo que trabaja con niveles tensionales muy por debajo del límite elástico del material en la mayor parte de su volumen. Esta acumulación de material ineficiente penaliza directamente el peso del vehículo en una zona tan crítica como la masa no suspendida, abriendo una clara oportunidad para el rediseño y la consecuente optimización de su geometría sin comprometer su factor de seguridad.

2.6. Tendencias Actuales en Materiales y Optimización

En la industria automotriz actual existe una tendencia clara hacia la reducción de peso de los vehículos, especialmente en componentes estructurales y masas no suspendidas. Esta reducción permite mejorar la eficiencia energética, el comportamiento dinámico y el consumo del vehículo.

Para conseguirlo, actualmente se emplean dos estrategias principales:

2.6.1. Sustitución de materiales

Vehículos de segmentos premium y, cada vez más, fabricantes generalistas del grupo VAG como Volkswagen, Skoda o Seat, recurren a la sustitución del acero empleado tradicionalmente por aleaciones de aluminio. Si bien el aluminio logra reducir la masa de forma directa, también exige un aumento del volumen de la pieza en zonas localizadas para compensar su menor módulo de elasticidad y mantener la rigidez necesaria en las secciones críticas de la pieza. Además, el

coste del aluminio y de sus procesos de fabricación suele ser superior al del acero convencional.

2.6.2. Optimización Topológica y Geométrica

Consiste en la aplicación de simulaciones de esfuerzos y algoritmos computacionales que redistribuyen el material de un diseño preestablecido, eliminando el material allí donde las tensiones son residuales y despreciables. El resultado son formas puramente orgánicas optimizadas y altamente eficientes.

2.6.3. Enfoque de Diseño del Proyecto

En este proyecto se pretende mantener el uso del acero como material de la mangueta con el objetivo de conservar la viabilidad industrial y los costes de fabricación asociados a la producción en serie que ya tiene Ford establecidos.

La estrategia de diseño no se basa en una optimización topológica automática o semiautomática, sino en un rediseño geométrico completo del componente basado en simulaciones de esfuerzos mediante elementos finitos. Para ello, se establecen una serie de restricciones funcionales invariables, tales como los alojamientos de rodamientos, anclajes de suspensión, soportes de frenado y tolerancias dimensionales críticas.

A partir de estas limitaciones geométricas, se desarrolla una nueva morfología orientada a reducir la masa de la pieza sin comprometer su integridad estructural. Esta reducción de peso busca disminuir la masa no suspendida del vehículo y, consecuentemente, contribuir a la mejora de la eficiencia energética, la reducción del consumo y la mitigación de emisiones de CO₂.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Principal

Rediseñar la mangueta delantera derecha del Ford Focus Active 2021 mediante simulaciones de esfuerzos y criterios de optimización geométrica, con el objetivo de reducir su masa sin comprometer su integridad estructural, factor de seguridad y funcionalidad, contribuyendo además a la mejora de la eficiencia energética y a la reducción del impacto ambiental del vehículo.

3.2. Objetivos Específicos

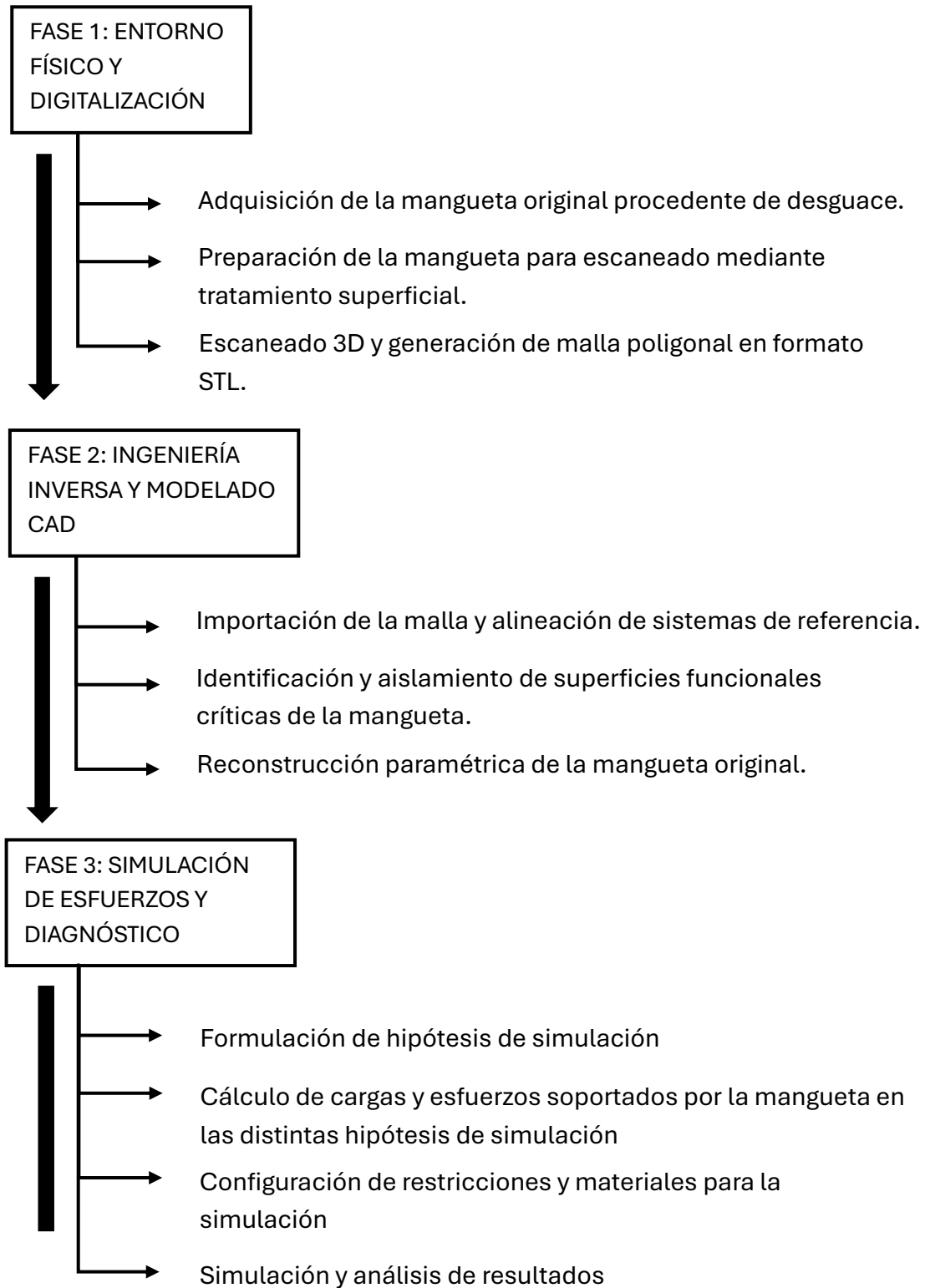
- **Digitalización 3D:** Adquirir, adecuar y escanear la pieza física real para obtener una nube de puntos precisa de la mangueta.
- **Ingeniería Inversa CAD:** Reconstruir paramétricamente el modelo sólido original.
- **Benchmarking:** Analizar las soluciones técnicas de competidores del sector y vehículos de diversas gamas para identificar tendencias geométricas y estructurales de aligeramiento.
- **Cálculo de Cargas:** Determinar los esfuerzos y vectores de fuerza para los escenarios de conducción más severos.
- **Simulación y Diagnóstico:** Evaluar el comportamiento de la mangueta original bajo esfuerzos en distintos escenarios de conducción para localizar las zonas sobredimensionadas e infrautilizadas.
- **Generación de Ideas y Exploración de Alternativas:**
Exploración conceptual y generación de propuestas de diseño basadas en el bocetado de manguetas, siempre respetando los criterios geométricos establecidos.
- **Rediseño y Optimización Geométrica:** Desarrollar un nuevo diseño de mangueta basado en la exploración conceptual de propuestas, simulaciones de esfuerzos y análisis de soluciones existentes en el mercado, de manera que el nuevo diseño minimice el uso de material, aligere la pieza, y colabore a reducir las emisiones de CO₂ sin comprometer la integridad estructural de la pieza mediante el factor de seguridad.
- **Simulaciones y Validación Estructural:** Comprobar mediante simulaciones que la mangueta aligerada cumple con los coeficientes de seguridad exigidos.

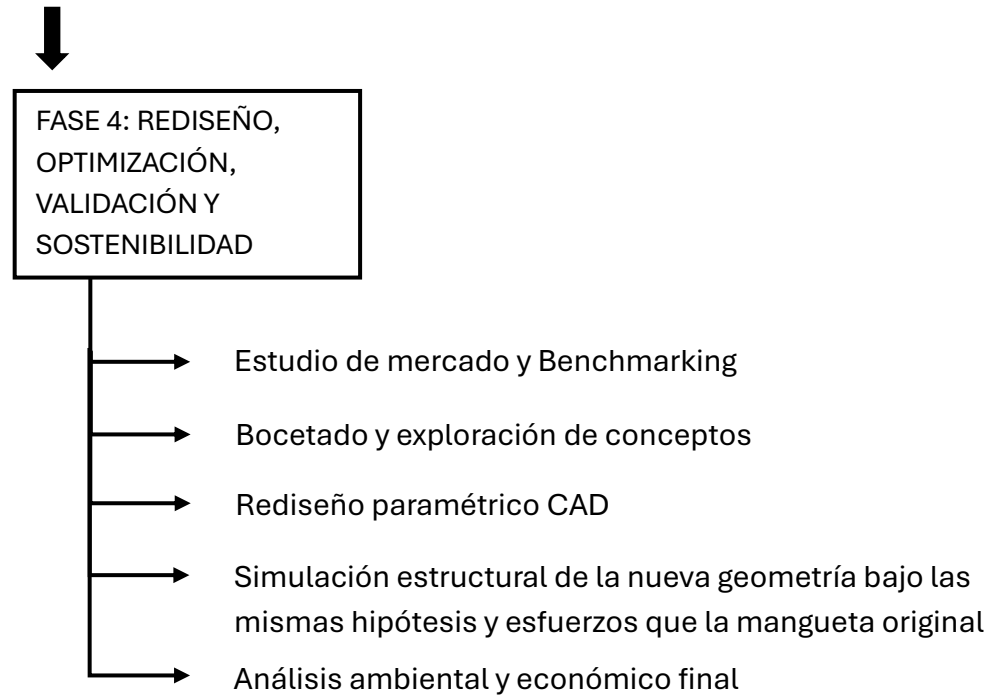
- **Estudio de Viabilidad:** Cuantificar el impacto económico del rediseño y evaluar el beneficio ambiental en términos de ahorro de combustible y reducción de emisiones de CO₂.

4. Resumen Metodológico del Proyecto

4.1. Diagrama de Flujo del Proceso Global

El desarrollo de este proyecto sigue una metodología estructurada de tal forma que cada fase se basa estrictamente en datos validados de la fase previa. El flujo de trabajo global se divide en cuatro grandes bloques:





4.2. Justificación de las Herramientas de Software y Hardware Seleccionadas

Con el fin de desarrollar el modelo digital y realizar su validación estructural, se han empleado herramientas específicas de digitalización tridimensional, diseño CAD y análisis por elementos finitos (FEA).

4.2.1 Hardware de digitalización

Se ha seleccionado el escáner 3D EinScan Pro HD para la digitalización de la mangueta original. Este dispositivo ofrece una precisión de hasta 0,04 mm y una elevada densidad de captura, alcanzando velocidades de hasta 3 millones de puntos por segundo. Estas características permiten obtener nubes de puntos con el nivel de detalle necesario para reproducir con fidelidad las geometrías del componente.



Imagen 4 - Escáner 3D EinScan Pro HD (Elaboración Propia)

4.2.2. Software de adquisición y postprocesado

- **EXScan:** Empleado para el control y calibración del escáner 3D así como la generación y visualización de la nube de puntos obtenida durante el proceso de escaneado.
- **MeshLab:** Utilizado como herramienta de procesamiento para la limpieza de ruido en la nube de puntos, filtrando geometría redundante y corrigiendo discontinuidades. También permite exportar el archivo en formato de malla poligonal (STL), requisito indispensable para el entorno CAD.

4.2.3. Software de Diseño Asistido por Ordenador CAD

Se ha optado por un entorno CAD paramétrico e híbrido basado en sólidos y superficies. Autodesk Fusion permite importar mallas STL de alta densidad y utilizarlas como referencia tridimensional para la reconstrucción geométrica de la mangueta.

Además, su sistema de historial paramétrico facilita la modificación controlada del diseño, permitiendo diferenciar las geometrías críticas tales como puntos de anclaje y alojamientos, que deben permanecer inalteradas, de las zonas morfológicas susceptibles de optimización durante la fase de aligeramiento.

4.2.4. Software de Simulación y Análisis por Elementos Finitos (FEA)

Para las simulaciones y el análisis estructural de la mangueta se ha empleado el módulo de simulación integrado en Autodesk Fusion. Esta herramienta permite realizar simulaciones estáticas mediante el método de los elementos finitos (FEA), definiendo cargas, restricciones y propiedades mecánicas del material directamente sobre el modelo CAD.

Mediante estas simulaciones es posible analizar la distribución de tensiones de Von Mises, desplazamientos y factores de seguridad de la mangueta frente a diferentes escenarios de carga durante la conducción del vehículo.

5. Estudio de Mercado y Benchmarking

El objeto de este estudio es realizar un análisis comparativo (*benchmarking*) de las soluciones de diseño adoptadas para la mangueta delantera en diferentes vehículos de los segmentos C, así como otros segmentos y otros modelos premium del mercado automovilístico actual.

El propósito de este estudio es identificar las tendencias de la actualidad en cuanto a morfología, selección de materiales e integración de componentes (como los rodamientos). La información recopilada servirá como base para diagnosticar las ineficiencias del diseño original del Ford Focus Active 2021 y fundamentar las decisiones en la fase de rediseño y aligeramiento de la pieza.

5.1. Competidores directos

En este apartado se evalúan las manguetas de vehículos que compiten en el mismo segmento comercial (Segmento C) y rango de precios similar que el Ford Focus Active 2021, analizando cómo resuelven la mangueta delantera los fabricantes generalistas de gran volumen de fabricación.

Para este estudio de Mercado, se han establecido los siguientes modelos como competencia directa del Ford Focus, entre otros:

- Mazda Mazda3
- Honda Civic
- Toyota Corolla
- Skoda Octavia
- Seat León
- Volkswagen Golf

5.1.1 Mangueta Mazda 3



Imagen 5 - Mazda Mazda3 Hatchback 2019 (km77.com)

Esta comparación resulta especialmente relevante debido a que el Mazda 3 y el Ford Focus pertenecen al mismo segmento y presentan un posicionamiento comercial muy similar. Como consecuencia, ambos vehículos comparten soluciones y criterios de diseño condicionados por costes de fabricación, prestaciones y requisitos propios del segmento C.

A continuación, se realizará una comparativa entre las manguetas delanteras derechas de ambos modelos con el objetivo de identificar diferencias geométricas, estructurales y de distribución de material.



Imagen 6 - Mangueta Delantera Derecha Mazda Mazda3 (Autodoc)

- **Material:** Al igual que la del Focus, esta es de acero. Ha conformado la opción estándar en el segmento C por su excelente relación coste-durabilidad.

- **Tipo de Suspensión:** Ambas están diseñadas para una suspensión de tipo McPherson.
- **Rodamiento de rueda:** Utiliza un rodamiento de inserción a presión como el Focus.
- **Optimización de Masa:** Los anclajes a la pinza de freno se sitúan más próximos al cuerpo central de la mangueta. Si bien esto conlleva una reducción considerable de material y aumento de estabilidad estructural de la pieza, también conlleva el anclaje de una pinza de freno de menor tamaño. Pese a que esta observación es interesante, no conlleva un rasgo significativo que se pueda trasladar a la mangueta del Ford Focus, ya que el tamaño y posición de las orejetas de anclaje de la pinza de freno se consideran una restricción física y geométrica que no se debe alterar en el rediseño.
- **Brazo de Suspensión:** Por otro lado, el brazo de suspensión parece algo más esbelto y refinado que el del Focus. Podría observarse un potencial sobredimensionamiento en la mangueta del Ford Focus en este aspecto concreto.
- **Brazo de Dirección:** En cuanto al brazo de Dirección y la Rótula Inferior, la geometría es muy similar a la presente en la mangueta original del estudio
- **Lenguaje Visual:** La mangueta del Mazda 3 presenta un lenguaje visual equilibrado y moderadamente orgánico dentro del segmento C. Su geometría evita excesos de material y se percibe una clara intención de limpieza formal, con transiciones suaves entre brazos y cuerpo central. No existen rupturas bruscas ni cambios de sección agresivos, lo que transmite una sensación de continuidad estructural y eficiencia.

El conjunto visual sugiere un diseño guiado por la integración funcional más que por el aligeramiento estructural. Las zonas de conexión (pinza de freno, amortiguador y brazo inferior) están bien jerarquizadas, pero sin protagonismos excesivos, reforzando una estética de componente maduro y optimizado para producción en serie.

- **Conclusión:** Aunque ambas manguetas presentan soluciones muy similares, se identifican pequeños detalles de diseño y acabado que evidencian distintos enfoques de optimización y fabricación entre fabricantes. Resulta especialmente destacable la aplicación de un recubrimiento de tipo E-coat en la mangueta del Mazda3, empleado como protección anticorrosiva frente a agentes externos. Este tratamiento evidencia una gran atención al acabado superficial y a la durabilidad del componente en servicio.

5.1.2 Mangueta Honda Civic mk10



Imagen 7- Honda Civic mk10 (motor.es)

Esta comparativa con el Honda Civic resulta especialmente interesante debido a su enfoque que, tradicionalmente ha sido orientado hacia un carácter dinámico, deportivo y ágil dentro del segmento C, especialmente en sus versiones Type R. Aunque comparte arquitectura McPherson y material con el Ford Focus, su geometría presenta algunas diferencias en la distribución del material y el diseño estructural de la mangueta.



Imagen 8 - Mangueta Delantera Izquierda Honda Civic (Autodoc)

- **Material:** Al igual que la mangueta del Ford Focus, esta pieza está fabricada en acero, manteniendo la solución habitual del segmento por su resistencia mecánica y viabilidad económica.

- **Tipo de suspensión:** Ambas manguetas están diseñadas para sistemas de suspensión delanteros independientes de tipo McPherson.

- **Rodamiento de rueda:** El Honda Civic emplea también un rodamiento de inserción a presión.

- **Distribución estructural:** A diferencia del diseño masivo de la mangueta del Focus, el Civic adopta una geometría formada por tres brazos delgados. Esta solución reduce considerablemente el material presente en zonas intermedias sin comprometer la integridad estructural.

- **Optimización geométrica:** El diseño general del Civic transmite una filosofía de aligeramiento más agresiva que la observada en el Focus, recurriendo a perfiles más estilizados y vaciados en los brazos mejor definidos.

- **Lenguaje Visual:** La mangueta del Honda Civic muestra un lenguaje visual más dinámico y técnico, con una fuerte presencia de vaciados y brazos estilizados. La estructura se percibe más ligera visualmente, generando una sensación de tensión interna controlada, típica de un diseño orientado al rendimiento.

Las tres ramas principales crean una composición más abierta y direccional, lo que aporta una lectura visual más deportiva. Frente a diseños más compactos, aquí la geometría transmite claramente una intención de reducción de masa, incluso a nivel perceptivo, reforzando su carácter deportivo.

- **Conclusión:** La mangueta del Honda Civic destaca por una geometría más ligera y refinada, orientada claramente a la reducción de masa y al comportamiento más deportivo del vehículo. Aunque muchos de sus parámetros geométricos no son directamente transferibles a nuestro caso de estudio debido a las restricciones de la mangueta del Ford Focus, sí representa una referencia interesante desde el punto de vista de distribución eficiente de material y optimización estructural.

5.1.3 Mangueta Toyota Corolla 2024



Imagen 9 - Toyota Corolla 2024 (CarAndDriver)

Esta comparativa con el Toyota Corolla es también de gran relevancia debido a que comparte segmento y arquitectura de suspensión con el Ford Focus Active 2021, aunque bajo una filosofía de diseño claramente orientada a la durabilidad, fiabilidad y producción masiva. El Toyota Corolla es además uno de los vehículos más vendidos del mundo, lo que convierte sus soluciones geométricas en una referencia interesante.



Imagen 10 - Mangueta Delantera Izquierda Toyota Corolla 2024 (AutoParts24)

- **Material:** Al igual que en el Ford Focus, la mangueta es de acero, manteniendo una solución ampliamente utilizada por su elevada resistencia mecánica, durabilidad y bajo coste de fabricación a gran escala.

- **Tipo de suspensión:** Ambos modelos utilizan una suspensión delantera independiente de tipo McPherson.

- **Alojamiento del rodamiento:** A diferencia del sistema de rodamiento insertado a presión presente en el Focus, el Corolla emplea un conjunto de rodamiento atornillado mediante 3 fijaciones distribuidas alrededor del alojamiento central. Esta configuración facilita las operaciones de mantenimiento y sustitución del rodamiento y el buje.

- **Refuerzos estructurales:** La pieza incorpora nervios de refuerzo entre el cuerpo principal y el brazo de suspensión con el objetivo de aumentar la rigidez sin incrementar excesivamente la masa total. Este es un factor de gran interés para el rediseño de la mangueta del Ford Focus.

- **Distribución geométrica:** En comparación con la mangueta del Focus, el Corolla presenta brazos estructurales más concisos y una distribución del material más racionalizada. Sin embargo, al igual que se ha mencionado en la mangueta del Mazda3, aspectos cruciales como las orejetas donde se inserta la pinza de freno son características inmutables de la mangueta sujeta a estudio en el presente proyecto.

- **Lenguaje Visual:** La mangueta del Toyota Corolla presenta un lenguaje visual altamente funcional. Su geometría se percibe con una clara expresividad formal, distinguida entre sus competidores.

Los refuerzos están integrados de forma muy limpia, sin generar complejidad visual innecesaria. Esto produce una lectura de pieza sólida, conservadora y orientada a fiabilidad. La percepción general es la de un diseño optimizado para producción masiva, donde cada nervio y vaciado responde a una lógica estructural clara.

- **Conclusión:** La mangueta del Toyota Corolla representa un claro referente en cuestiones de durabilidad, fiabilidad y optimización económica a gran escala. Presenta soluciones similares a la mangueta del Ford Focus, pero introduce detalles propios y característicos del lenguaje de diseño industrial de Toyota (nervaduras y refuerzos, optimización material en zonas con baja carga tensional, etc...)

5.1.4 Mangueta Skoda Octavia, Volkswagen Golf, Seat Leon (Uso General Grupo VAG)



Imagen 11 - Skoda Octavia (Grupo Avisa)



Imagen 12 - Volkswagen Golf (Coches.com)



Imagen 13 - Seat Leon (Grup Lesseps)

A continuación, se presenta el análisis de una mangueta utilizada en distintos vehículos del segmento C pertenecientes al grupo VAG, como Volkswagen, SEAT y Skoda. El uso de un diseño común entre modelos que utilizan la misma plataforma (MQB) y marcas del grupo permite optimizar costes de fabricación, simplificar procesos productivos y aumentar la compatibilidad entre plataformas mediante el empleo de componentes compartidos.



Imagen 14 - Mangueta Delantera Izquierda Plataforma VAG MQB (Autodoc)

- **Tipo de suspensión:** Al igual que el Ford Focus, estos modelos emplean una suspensión delantera independiente de tipo McPherson.

- **Material:** A diferencia de la mangueta original del Ford Focus, fabricada en acero, la solución empleada por el grupo VAG recurre al uso de aluminio con el objetivo de reducir la masa no suspendida y mejorar la calidad de rodadura del vehículo. La adopción de este material en modelos del segmento C sugiere una tendencia hacia el uso de soluciones asociadas a gamas superiores. Este enfoque resulta especialmente relevante para el proyecto, ya que demuestra la viabilidad técnica e industrial de utilizar el aluminio como estrategia de aligeramiento en el rediseño de la mangueta del Ford Focus.

- **Optimización geométrica:** La pieza presenta vaciados y ventanas claramente visibles en el cuerpo principal, eliminando material en zonas de bajo esfuerzo. Este enfoque evidencia una estrategia de optimización geométrica mucho más avanzada que la observada en la mangueta del Focus original y otras manguetas de competidores en el segmento. Frente al diseño más masivo del Focus, la mangueta MQB presenta brazos más estilizados y una distribución del material mucho más racionalizada alrededor de las zonas críticas de carga.

- **Alojamiento de rodamiento:** Utiliza un sistema de rodamiento atornillado, al igual que la mangueta del Toyota Corolla, facilitando tanto el mantenimiento como la modularidad entre distintos modelos de la plataforma.

- **Lenguaje Visual:** Las manguetas del grupo VAG presentan un lenguaje visual claramente técnico, con una fuerte presencia de vaciados geométricos controlados. A diferencia de otros fabricantes, aquí la estética del componente se acerca más a la optimización topológica, generando formas más abstractas y menos intuitivas visualmente.

Se percibe una intención clara de reducción de masa mediante eliminación sistemática de material en zonas de baja carga, lo que genera una imagen de pieza avanzada y altamente calculada. El resultado es un conjunto visual más complejo, pero también más eficiente.

• **Conclusión:** La mangueta desarrollada para la plataforma MQB del grupo VAG son un claro referente, ya que demuestran la viabilidad industrial de emplear aluminio y estrategias avanzadas de aligeramiento en vehículos de gran producción en serie. Su diseño evidencia una clara orientación hacia la reducción de masa no suspendida mediante optimización geométrica y distribución eficiente del material. Resulta especialmente interesante que esta misma arquitectura de mangueta pueda emplearse tanto en vehículos compactos como el Golf u Octavia como en modelos de mayor masa, como el Volkswagen Tiguan. Esto demuestra un diseño estructural capaz de soportar un amplio rango de cargas manteniendo una masa relativamente reducida.

5.2. Vehículos del segmento premium

Con el fin de identificar soluciones de alto rendimiento técnico, se analiza la arquitectura de la mangueta en vehículos de segmentos superiores y de propulsión eléctrica, donde los presupuestos de fabricación son mayores y se prioriza de forma estricta la reducción de masa no suspendida.

5.2.1 Mangueta Tesla Model 3 2017-2023



Imagen 15 - Tesla Model 3 2017-2023 (CarAndDriver)

Los vehículos eléctricos soportan un incremento considerable de masa respecto a los vehículos de combustión tradicionales debido a la batería. Por ello, resulta especialmente interesante analizar las soluciones empleadas por Tesla, un fabricante centrado exclusivamente en vehículos eléctricos, con el objetivo de estudiar las estrategias de reducción de masa aplicadas.

El Tesla Model 3 precisamente, vehículo cuya mangueta está sujeta el siguiente análisis, tiene una masa total (Kerb Weight) de 1922kg, de los cuales la batería ronda aproximadamente los 500kg (En función del modelo exacto y capacidad).



Imagen 16 - 3D Mangueta Model 3 (Tesla Service)



Imagen 17 - Mangueta Delantera Model 3 (Tesla Service)

- **Material:** La pieza está fabricada en una aleación de aluminio de alta resistencia. Esta solución permite reducir significativamente la masa no suspendida respecto a diseños tradicionales de acero.

- **Tipo de suspensión:** A diferencia de la suspensión de tipo McPherson utilizada en el Ford Focus, el Tesla emplea una configuración de tipo Doble Horquilla, caracterizada por un brazo superior de dimensiones mayores que la del Focus que conecta la mangueta con la suspensión.

- **Alojamiento de rodamiento:** Utiliza un rodamiento atornillado directamente a la mangueta mediante 4 fijaciones distribuidas alrededor del buje. Esta solución mejora la modularidad y simplifica las operaciones de montaje y mantenimiento.

- **Optimización geométrica:** Destaca el diseño del brazo superior, cuya sección abierta tipo “U” permite aumentar la rigidez utilizando una cantidad mínima de material. Este enfoque evidencia un elevado nivel de optimización geométrica.

- **Lenguaje Visual:** Presenta un lenguaje visual minimalista pero altamente técnico. La geometría del brazo superior, con sección tipo “U”, introduce una estética claramente asociada a optimización estructural avanzada, donde la forma sigue de manera directa la distribución de esfuerzos y actúa directamente como refuerzos estructurales.

El conjunto transmite una sensación de componente moderno y avanzado. Es un lenguaje visual limpio y extremadamente funcional.

- **Conclusión:** La mangueta del Tesla Model 3 constituye un ejemplo avanzado de diseño ligero aplicado a vehículos de producción masiva. Su uso del aluminio, geometrías optimizadas y soluciones modulares refleja una filosofía claramente orientada a minimizar la masa no suspendida y mejorar la eficiencia del vehículo.

Véase a continuación la mangueta trasera izquierda del Tesla Model 3. No se debe tomar la morfología general como referencia para el rediseño de la mangueta del Focus pues se trata de una mangueta ubicada en el eje trasero, pero es de gran utilidad comparativa ya que permite visualizar soluciones y optimizaciones de material en otras piezas del fabricante estadounidense.

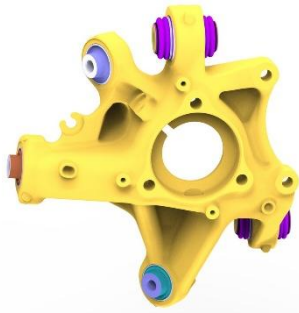


Imagen 18 - 3D Trasera Model 3 (Tesla Service)



Imagen 19 - Trasera Model 3 (Tesla Service)

5.2.2 Mangueta Porsche Cayenne 958 2011-2018



Imagen 20 - Porsche Cayenne 958 mk2 2011-2018 (Maessen Sportscars)

La mangueta del Porsche Cayenne representa una filosofía de diseño premium que debe soportar elevadas cargas e inercias asociadas a vehículos SUV de altas prestaciones. Frente a la arquitectura compacta y ligera del Ford Focus Active 2021, el Cayenne supera ampliamente las dos toneladas de masa y equipa conjuntos de rueda y frenado de dimensiones considerablemente mayores, montando llantas de gran diámetro, de entre 21" y 23".



Imagen 21 - Mangueta Porsche Anverso (Rosepassion) Imagen 22 – Mangueta Porsche Reverso (Rosepassion)

- **Tipo de suspensión:** A diferencia de la suspensión McPherson utilizada en el Ford Focus, el Cayenne emplea un sistema de doble horquilla. Esta configuración modifica completamente la geometría de la mangueta, por lo que muchas de sus soluciones constructivas no resultan directamente transferibles al proyecto.

- **Material:** Mientras que el Focus utiliza acero, el Cayenne recurre a aluminio de alta resistencia. Pese al gran tamaño de la pieza, el uso de aluminio resulta prácticamente indispensable para limitar la masa no suspendida.

- **Optimización Geométrica:** La pieza presenta una geometría considerablemente más robusta y masiva, diseñada para soportar mayores esfuerzos de frenado, cargas elevadas y las inercias generadas por llantas de gran diámetro. Sin embargo, se puede visualizar estrategias claramente orientadas a la optimización y reducción de masa y material, tales como vaciados y ventanas estratégicas en zonas de bajo esfuerzo. En una pieza de estas dimensiones, estos enfoques suponen una diferencia de gran consideración en el impacto final de la calidad de rodadura del vehículo.

- **Alojamiento de rodamiento:** Incorpora un rodamiento atornillado mediante 4 puntos de fijación distribuidos alrededor del buje.

- **Sistema de frenado:** Las orejetas de anclaje de la pinza de freno se sitúan notablemente alejadas del buje para permitir la instalación de pinzas de freno de gran diámetro, característicos de vehículos de altas prestaciones y elevada masa.

- **Lenguaje Visual:** Muestra un lenguaje visual robusto y técnico, pero también esbelto dadas sus dimensiones, dominado por la necesidad de soportar altas cargas. Las formas son más “masivas” aunque todavía estilizadas, y están claramente estructuradas mediante vaciados estratégicos que equilibran peso y rigidez.

Visualmente transmite una sensación de “potencia contenida”, donde la geometría no busca ser ligera a simple vista, sino eficiente dentro de un marco de exigencia extrema. Es un lenguaje visual más mecánico-industrial que busca maximizar la sensación de robustez y atención al detalle.

- **Conclusión:** Aunque la arquitectura y dimensiones de la mangueta del Porsche Cayenne difieren considerablemente de las del Ford Focus, su análisis resulta útil para comprender cómo cambian los criterios de diseño cuando aumentan significativamente la masa del vehículo, las cargas y las exigencias del sistema de frenado. Asimismo, es indispensable conocer las estrategias de aligeramiento empleadas por un fabricante de alta gama como la marca alemana Porsche.

5.2.3 Mangueta Porsche 911 997 2004-2012



Imagen 23 - Porsche 911 997 2004-2012 (Efferspot)

La mangueta del Porsche 911 (997) resulta especialmente interesante debido a que, pese a tratarse de un vehículo deportivo de altas prestaciones, mantiene un tipo de suspensión delantera de tipo McPherson similar a la empleada en el Ford Focus. Este aspecto permite realizar comparaciones geométricas de gran utilidad.



Imagen 24 - Mangueta Delantera Porsche 911 997 (Autodoc)

- **Tipo de suspensión:** Tanto el Porsche 911 como el Ford Focus utilizan una suspensión delantera independiente de tipo McPherson. En el caso del 911, Porsche mantiene esta arquitectura por sus ventajas en términos de reducción de peso y aprovechamiento del espacio delantero del vehículo, además de ser un sello distintivo de este modelo icónico de la marca alemana.

- **Alojamiento del rodamiento:** Al igual que en la mangueta del Focus, el Porsche 911 emplea un rodamiento insertado a presión, sin recurrir a configuraciones atornilladas como otros vehículos de alta gama.

- **Material:** Mientras que el Focus utiliza acero, la mangueta del 911 está fabricada en una aleación de aluminio de alta resistencia, acompañada de un recubrimiento superficial protector de tipo E-coat para mejorar la resistencia frente a la corrosión.

- **Optimización geométrica:** La geometría general de la pieza sugiere un nivel de optimización mucho más agresivo y depurado que el observado en el Focus, especialmente en los soportes de frenado y los vaciados estructurales en zonas de bajo esfuerzo.

- **Lenguaje Visual:** La mangueta del Porsche 911 combina un lenguaje visual técnico con un grado elevado de refinamiento formal. A diferencia de otras piezas de altas prestaciones, aquí se percibe una mayor coherencia entre ligereza visual y precisión geométrica.

Las transiciones son limpias y las zonas de material están muy bien definidas, lo que genera una estética de alta ingeniería muy depurada. El resultado es una pieza que transmite precisión, control y tradición deportiva sin recurrir a excesos formales.

- **Conclusión:** La mangueta del Porsche 911 demuestra cómo una arquitectura McPherson puede alcanzar elevados niveles de precisión mediante una distribución de material altamente optimizada y un cuidadoso diseño. Aunque muchas de sus soluciones responden a requisitos propios de un deportivo de altas prestaciones, algunas estrategias de aligeramiento pueden servir como referencia conceptual para el rediseño de la mangueta del Ford Focus.

5.2.4 Mangueta Audi A4 2007- 2011, Audi A5 2007-2011, Audi Q5 2008-2012



Imagen 25 - Audi A4 2007-2011 (Autoscout)

Imagen 26 - Audi A5 2007-2011 (El Mundo)



Imagen 27 - Audi Q5 2008-2012 (CarAndDriving)

Estos 3 modelos de Audi comparten la misma mangueta, y han sido seleccionados como representación de equilibrio avanzado entre confort, ligereza y rigidez estructural. Permiten comparar cómo un diseño premium optimiza peso y comportamiento dinámico frente a la solución más convencional del Ford Focus Active 2021.



Imagen 28 - Mangueta Delantera Audi A4, A5, Q5 (Autodoc)

- **Material:** Aluminio de alta calidad, orientado a la reducción de masa no suspendida y la mejora del confort dinámico frente al acero fundido utilizado en el Ford Focus.
- **Tipo de Suspensión:** Suspensión multibrazo.
- **Optimización Geométrica:** Presenta vaciados estructurales en zonas de baja tensión, aplicando estrategias de optimización topológica para reducir peso manteniendo la rigidez. Destaca el diseño esbelto del brazo de suspensión frente a la morfología robusta del presente en la mangueta del Focus.
- **Alojamiento del Rodamiento:** Rodamiento atornillado mediante sistema de 4 fijaciones, más robusto y fácilmente mantenible que el sistema convencional del Focus.
- **Sistema de Frenado:** Destaca la posición de las orejetas, ya que están muy próximas al alojamiento del rodamiento. Incluso de esta manera, la separación entre ambas es suficiente como para albergar pinzas de freno de tamaño considerable.
- **Lenguaje Visual:** La mangueta de la plataforma Audi presenta un lenguaje visual muy equilibrado entre sofisticación y funcionalidad. El uso de aluminio permite geometrías más limpias y abiertas, con vaciados claramente definidos que aportan ligereza visual.

Se percibe una estética más refinada que en vehículos generalistas, con una fuerte coherencia formal y una clara intención de transmitir calidad de ingeniería. Es un diseño que comunica precisión y confort incluso a nivel visual.

- **Conclusión:** La mangueta de la plataforma Audi MLP representa una solución avanzada orientada al confort y la ligereza estructural. Frente al diseño más simple y pesado del Ford Focus Active 2021, destaca por el uso de aluminio, geometrías optimizadas y un sistema de rodamiento de mayor robustez y facilidad de mantenimiento. Constituye así un referente claro de cara al rediseño de la mangueta del Ford Focus.

5.2.5 Mangueta Lamborghini Urus 2018



Imagen 29 - Lamborghini Urus 2018 (Lamborghini)

Se incluye por ser el vehículo de mayores prestaciones de la comparativa. Su mangueta muestra soluciones extremas de ingeniería enfocadas en soportar altas cargas, grandes inercias y exigencias dinámicas, sirviendo como referente tecnológico de máximo rendimiento junto al Porsche Cayenne.



Imagen 30 - Mangueta Delantera Derecha Lamborghini Urus 2018 (Autodoc)

- **Material:** Aluminio, en consonancia a manguetas similares de competidores o modelos de alta gama.
- **Tipo de Suspensión:** Suspensión de doble horquilla.
- **Optimización Geométrica:** Integra grandes vaciados estructurales y diseño optimizado para reducir peso sin comprometer la resistencia. Formalmente, recuerda a soluciones morfológicas como las empleadas en el diseño de la mangueta del Porsche Cayenne.
- **Alojamiento del Rodamiento:** Sistema de rodamiento atornillado.

- **Lenguaje Visual:** La mangueta del Lamborghini Urus presenta un lenguaje visual agresivo desde el punto de vista técnico. Los vaciados son amplios, claramente definidos y expresivos.

A diferencia de otras piezas premium, aquí la optimización estructural se combina con una estética de alto rendimiento muy marcada. El resultado es un diseño que visualmente transmite velocidad, carga extrema y sofisticación mecánica avanzada.

- **Conclusión:** La mangueta del Lamborghini Urus prioriza el rendimiento absoluto mediante materiales avanzados y geometrías altamente optimizadas. Comparada con la del Ford Focus Active 2021, representa un enfoque centrado en máxima rigidez, resistencia y reducción de masa mediante ingeniería estructural avanzada.

5.3. Análisis Evolución Mangueta Ford Focus



Imagen 31 - Ford Focus C-Max (Auto123)

Tras el análisis individual de los competidores y otros modelos “premium” de segmentos distintos, es de gran utilidad para el proyecto analizar brevemente la evolución histórica de la mangueta del propio modelo sujeto a estudio, el Ford Focus. Véase a continuación la mangueta del Ford Focus C-Max 2003-2012.



Imagen 32 - Mangueta Ford Focus C-Max (Autodoc)

- **Material:** Acero fundido, priorizando resistencia y durabilidad frente a la reducción de peso.
- **Tipo de Suspensión:** Suspensión tipo McPherson.
- **Optimización Geométrica:** Diseño compacto y macizo, con similar enfoque en sobredimensionamiento de masa respecto al Focus Active 2021.
- **Alojamiento del Rodamiento:** Rodamiento insertado a presión.

- **Sistema de Frenado:** Los brazos de las orejetas de las pinzas del C-Max se ubican mucho más próximos al buje y entre sí mismos, indicando un potencial empleo de pinzas de freno de menor tamaño respecto a la evolución del Ford Focus Active en el año 2021.
- **Lenguaje Visual:** La mangueta del Ford Focus C-Max presenta un lenguaje visual claramente funcional, con una geometría compacta que prioriza la resistencia estructural frente a la optimización de masa.

No existe una búsqueda de ligereza formal ni de refinamiento geométrico, sino una clara orientación hacia la durabilidad y la simplicidad constructiva. En comparación con soluciones más modernas, transmite un lenguaje visual más pesado y menos optimizado, coherente con la filosofía de diseño de su generación.

- **Conclusión:** La mangueta del Ford Focus C-Max representa una solución tradicional basada en robustez y simplicidad constructiva. Comparada con la del Ford Focus Active 2021, no evidencia evolución representativa hacia diseños más ligeros, optimizados geométricamente y orientados a facilitar el mantenimiento y mejorar la eficiencia dinámica.

5.4. Tendencias tecnológicas observadas

Tras el análisis individual de los competidores, este apartado sintetiza los patrones constructivos y estrategias comunes detectados en la industria de automoción para el diseño de manguetas, clasificándolos en cuatro ejes principales:

- Tendencia hacia el uso de aleaciones ligeras de aluminio frente al tradicional uso de acero.
- La ejecución de vaciados geométricos en zonas estratégicas donde el esfuerzo soportado por el componente es bajo o nulo, y cuya reducción de material no supone un riesgo real para la pieza.
- La evolución hacia rodamientos integrados mediante tornillería que optimizan la modularidad y mantenimiento del conjunto de la mangueta.
- El empleo de brazos de esbeltos y optimizados topológicamente, evitando sobredimensionamientos innecesarios.

5.5. Matriz comparativa final de soluciones industriales

A modo de conclusión del estudio, se presenta una matriz de decisión cuantitativa y cualitativa que unifica todas las variables analizadas (material, arquitectura de suspensión, tipo de rodamiento y estrategia de aligeramiento), permitiendo posicionar de forma crítica la mangueta original frente al estado del arte del mercado.

5.5.1. Matriz comparativa final de Competidores del Segmento C

Modelo de Vehículo	Tipo de Suspensión	Material	Topología	Brazos Pinza Freno
Ford Focus Active 2021	McPherson	Acero	Maciza y Sobredimensionada	Integrados y Reforzados
Mazda 3	McPherson	Acero	Maciza, pero Refinada y esbelta	Cercanos al buje y próximos entre sí
Grupo VAG Generalista	McPherson	Aluminio	Optimizada con vaciados y ventanas estratégicas	Cercanos al buje y reforzados por la propia morfología
Toyota Corolla 2024	McPherson	Acero	Brazos esbeltos y definidos	Cercanos al buje. Aparentemente menos reforzados que la competencia. Posible optimización en este aspecto.
Honda Civic (06-11)	McPherson	Acero	Refinada, esbelta, y sin aparente sobredimensionamiento	Brazos definidos similares a los del Focus

Tabla 1- Matriz Comparativa Competidores Segmento C #1

Modelo de Vehículo	Brazo Dirección	Brazo Suspensión	Otros Comentarios
Ford Focus Active 2021	Robusto, Macizo y aparentemente Sobredimensionado	Sobredimensionado	Punto de partida. Rodamiento a presión. Sobredimensionamiento como hipótesis.
Mazda 3	Geometría maciza similar a la del Focus	Geometría esbelta y refinada pero maciza y robusta	Recubrimiento E-coat. Rodamientos a presión.
Grupo VAG Generalista	Estilizado y curvo	Integrado en la propia morfología de la mangueta.	Referente ideal para el rediseño. Rodamiento 3 Puntos.
Toyota Corolla 2024	Optimizado para empaquetado	Esbelto. Incluye pequeños vaciados.	Referente en fiabilidad y líder mundial en ventas. Rodamiento atornillado de 4 puntos.
Focus C-Max (03-12)	Simple. Robusto y macizo.	Simple. Robusto y macizo.	Rodamiento a presión.
Honda Civic (06-11)	Brazo largo, similar al Focus.	Similar al Focus pero más optimizada.	Referente en deportividad y agilidad de conducción en el segmento C. Rodamiento a presión.

Tabla 2 - Matriz Comparativa Competidores Segmento C #2

5.5.2. Matriz comparativa final de Deportivos Y SUV de Alta Gama

Modelo de Vehículo	Tipo de Suspensión	Material	Topología	Brazos Pinza Freno
Ford Focus Active 2021	McPherson	Acero	Maciza y Sobredimensionada	Integrados y Reforzados
<i>Tesla Model 3</i>	Doble Horquilla	Aluminio	Esbelta y orgánica, sección en "U". Optimizada.	Integrados directamente en la geometría. Carece de brazos propios.
<i>Porsche Cayenne 958</i>	Doble Horquilla	Aluminio	Grandes dimensiones y optimización agresiva.	Desplazados, diseñados para albergar pinzas de gran tamaño
<i>Porsche 911 (997)</i>	McPherson	Aluminio	Vaciado estructural y optimización agresiva	Brazos cortos pero distanciados entre sí. Permite albergar pinzas de gran tamaño
<i>Audi A4/A5/Q5</i>	Multibrazo	Aluminio	Punto medio entre Segmento C y Alta Gama, con optimización estructural	Brazos cortos, prácticamente integrados en la mangueta, cercanos al buje.
<i>Lamborghini Urus</i>	Doble Horquilla	Aluminio	Topología extrema y de alto rendimiento. Similar al Porsche Cayenne.	Brazo longitudinal sobre el cual se acoplan las orejetas. Aporta rigidez estructural.

Tabla 3 - Matriz Comparativa Deportivos y SUV Alta Gama #1

Modelo de Vehículo	Brazo Dirección	Brazo Suspensión	Otros Comentarios
Ford Focus Active 2021	Robusto, Macizo y aparentemente Sobredimensionado	Sobredimensionado	Punto de partida. Rodamiento a presión. Sobredimensionamiento como hipótesis.
<i>Tesla Model 3</i>	Brazo de tamaño regular. Crece de la geometría orgánica de la mangueta.	Largo y esbelto (Representativo en Doble Horquilla)	Rodamiento atornillado de 3 anclajes. Referente en morfología orgánica y secciones continuas en "U"
<i>Porsche Cayenne 958</i>	Brazo corto y rígido. Gran integridad estructural.	Largo y esbelto (Representativo en Doble Horquilla). Optimizado.	Soporta inercias considerables. Rodamiento de 4 anclajes.
<i>Porsche 911 (997)</i>	Largo en comparación a otros modelos.	Muy largo y esbelto.	Enfoque en alta precisión deportiva y competitiva. Rodamiento a presión.
<i>Audi A4/A5/Q5</i>	Brazo corto, rígido e íntegro.	Largo, esbelto y excelente optimización estructural.	Orientado al confort y gama media-alta. Rodamiento de 4 anclajes.
<i>Lamborghini Urus</i>	Brazo regular, similar al Cayenne	Largo, esbelto y optimizado	Máxima representación de rigidez y deportividad.

Tabla 4 - Matriz Comparativa Deportivos y SUV Alta Gama #2

5.5.3. Matriz comparativa Evolución Histórica Ford Focus

Modelo de Vehículo	Tipo de Suspensión	Material	Topología	Brazos Pinza Freno
Ford Focus Active 2021	McPherson	Acero	Maciza y Sobredimensionada	Integrados y Reforzados
<i>Focus C-Max (03-12)</i>	McPherson	Acero	Compacta y maciza	Cortos y gruesos. Albergan pinzas de freno de menor tamaño en comparación al Ford Focus del 2021

Tabla 5 - Matriz Comparativa Evolución Histórica Ford Focus #1

Modelo de Vehículo	Brazo Dirección	Brazo Suspensión	Otros Comentarios
Ford Focus Active 2021	Robusto, Macizo y aparentemente Sobredimensionado	Sobredimensionado	Punto de partida. Rodamiento a presión. Sobredimensionamiento como hipótesis.
<i>Focus C-Max (03-12)</i>	Sección gruesa, sin aplicación aparente de estrategias de optimización.	Sin aplicación aparente de estrategias de optimización.	Rodamiento a presión.

Tabla 6 - Matriz Comparativa Evolución Histórica Ford Focus #2

5.5.4. Conclusiones Estudio de Mercado

- **Comparativa Técnica de Materiales:** El estudio muestra una dicotomía clara entre el uso de acero tradicional en fabricantes como Ford, Mazda, Toyota, etc... y aluminio, presente en fabricantes como Tesla Volkswagen, Audi, Porsche...
- **Tendencia hacia el Aluminio:** Aunque el acero ofrece ventajas en costes y durabilidad bruta en modelos económicos, los referentes de alto rendimiento y tecnología punta apuntan a que el paso al aluminio es la solución óptima para reducir la masa no suspendida y mejorar la eficiencia dinámica y calidad de rodadura. El análisis de mercado sugiere que el aluminio es el estándar a seguir para un rediseño de nivel "Premium". Sin embargo, el aluminio es un material considerablemente más caro que el acero.
- **Optimización Topológica:** Los modelos avanzados (Porsche, Lamborghini, Tesla) demuestran que el uso de vaciados estructurales o secciones en "U" o "H" permite piezas más ligeras y rígidas que los bloques macizos tradicionales como el del Focus original.
Es indispensable destacar diseños de mangueta como el del grupo VAG, empleado en modelos competidores del Ford Focus como el Skoda Octavia, el Seat Leon o el Volkswagen Golf. Esta mangueta es un gran referente para el presente rediseño porque demuestra el uso extensivo de estrategias de aligeramiento de peso, tales como el uso del aluminio y la optimización topológica mediante vaciados y ventanas visibles en la morfología de la mangueta, todo ello implementado en modelos del segmento C.
- **Rodamientos Optimizados:** Existe una transición clara desde los rodamientos insertados a presión como en el Focus, o el Honda Civic, hacia los rodamientos atornillados de 3 o 4 puntos (Tesla, Volkswagen Golf, Toyota Corolla 2024). Los sistemas atornillados, vistos incluso en marcas enfocadas a la fiabilidad como Toyota, facilitan el mantenimiento respecto al sistema de inserción del Focus.

5.5.4. Adaptación de Soluciones al Rediseño

La información obtenida durante el benchmarking resulta fundamental para definir las decisiones técnicas y las limitaciones que condicionarán la fase posterior de rediseño de la mangueta.

En primer lugar, respecto al material, se ha decidido mantener el uso de acero en la mangueta del Ford Focus por motivos tanto económicos como operativos. Aunque el aluminio permitiría una reducción significativa de masa y representa actualmente la tendencia predominante en la industria automotriz, su implementación implicaría un incremento considerable del coste de fabricación, además de requerir inversiones adicionales en utillaje, formación y adaptación de procesos industriales. Dado que uno de los principales objetivos de este Trabajo de Fin de Grado es reducir peso sin aumentar el coste del componente, el aluminio queda descartado para este proyecto concreto, aunque se considera una posible línea de evolución futura del modelo.

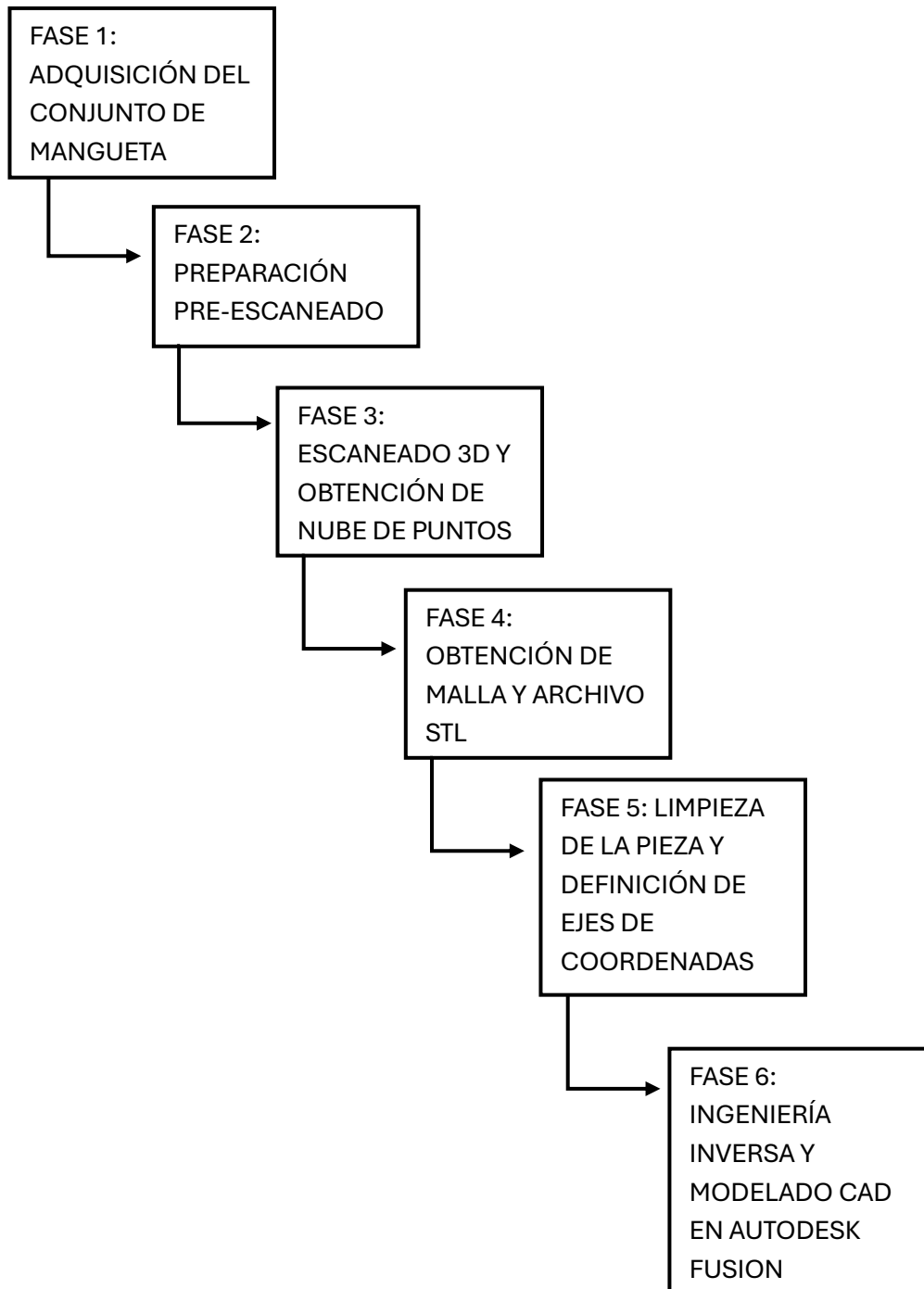
En cuanto al alojamiento del rodamiento, se mantendrá el sistema original de inserción a presión junto con la geometría actual del buje. Esta decisión busca garantizar la compatibilidad con el resto de los componentes del conjunto y evitar modificaciones adicionales fuera del alcance del proyecto. Cambiar el tipo de alojamiento implicaría necesariamente rediseñar y sustituir también el rodamiento, aumentando significativamente la complejidad y el coste de la intervención. No obstante, desde una perspectiva industrial, los sistemas de rodamiento atornillado observados en otros fabricantes presentan ventajas claras en términos de mantenimiento y robustez.

Finalmente, el análisis comparativo evidencia que las estrategias de reducción de masa mediante optimización topológica constituyen la evolución más lógica para el caso de estudio. El empleo de vaciados estructurales, ventanas de aligeramiento y geometrías abiertas en forma de “U” o “H” permite eliminar material en zonas poco solicitadas sin comprometer la rigidez estructural de la pieza. Este enfoque contrasta con la geometría más maciza y sobredimensionada de la mangueta original del Ford Focus, ofreciendo una vía clara hacia un diseño más eficiente y optimizado.

6. Adquisición de la Pieza y Digitalización 3D

6.1. Diagrama de Procedimiento de Digitalización 3D de la Mangueta

A continuación, se muestra un Diagrama detallado del procedimiento a seguir cuyo objetivo comprende la digitalización 3D de la mangueta del Ford Focus Active 2021, basándose en la pieza real obtenida de desguace.



6.2. Proceso Inicial: Adecuación de la Pieza

6.2.1 Adquisición Mangueta Delantera Ford Focus en Desguace

La adquisición de la mangueta del Ford Focus Active define el punto inicial del proceso de rediseño de la misma, objeto principal de este Trabajo de Fin de Grado.

Véase a continuación el conjunto adquirido en desguace, el cual todavía conserva varios de los componentes originalmente acoplados a la mangueta y característicos de su configuración en el vehículo.



Imagen 33 - Conjunto de Mangueta procedente de Desguace (Elaboración Propia)

Se observan los siguientes componentes:

- Mangueta
- Pinzas de Freno
- Disco de Freno
- Buje
- Sensor ABS
- Chapa Protectora de Disco
- Rodamientos
- Latiguillo de Frenos
- Pernos y otros tornillos de montaje
- Etiqueta de Identificación del Desguace

6.2.2 Desmontaje

Para el desarrollo del presente Trabajo de Fin de Grado, el único componente de interés es la mangueta, desacoplada de manera individual de cualquier otro elemento. De esta manera, se procede al desmontaje del conjunto.

6.2.2.1. Desacoplado de las Pinzas de Freno

El primer paso del desmontaje consiste en retirar los componentes externos de mayor accesibilidad. Para ello, se desacopla la pinza de freno de su soporte mediante una llave Allen HW7.

En la siguiente imagen puede observarse la pinza completamente desmontada del conjunto de la mangueta.



Imagen 34 - Pinza de Freno desacoplada del Soporte de Pinza (Elaboración Propia)

6.2.2.2. Desacoplado del Soporte de las Pinzas de Freno

Una vez retirada la pinza de freno, el soporte de las pinzas pasa a ser más accesible, por lo que constituye la siguiente fase de desmontaje. Utilizando una carraca con vaso de 15mm, se retira también el Soporte de las Pinzas (También denominado Portapinzas), sujeto directamente a la mangueta a través de las orejetas de la propia pieza.



Imagen 35 - Portapinzas desacoplado de la mangueta (Elaboración Propia)

6.2.2.3. Desconexión del Sensor ABS

El sensor ABS es el encargado de medir la velocidad de giro de una rueda, y forma, parte del sistema de ABS (Anti-Lock Brake System) de un automóvil.

Su función principal es detectar el bloqueo de la rueda durante la frenada, captando y enviando continuamente información sobre la velocidad de giro de la rueda a la centralita.

A continuación, se puede observar el alojamiento del sensor ABS en la mangueta.

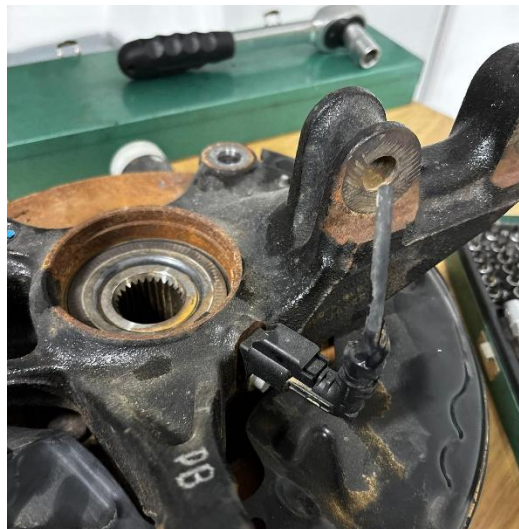


Imagen 36 - Alojamiento Sensor ABS en la mangueta (Elaboración Propia)

Su desconexión se realiza mediante una carraca de vaso de 8mm.



Imagen 37 - Sensor ABS desconectado de la mangueta (Elaboración Propia)

6.2.2.4. Desacople del Disco de Freno

A continuación, se retira el disco de freno del conjunto restante de la mangueta. Dado que el componente de interés para el presente proyecto es la propia mangueta y no se dispone de maquinaria específica para el desacople, la extracción se realiza manualmente mediante el uso de un martillo.

Este proceso resulta relativamente sencillo, aunque requiere aplicar los impactos de forma controlada para evitar daños sobre la geometría de la pieza.



Imagen 38 - Disco de Freno extraído del conjunto de la mangueta (Elaboración Propia)

6.2.2.5. Extracción de la Chapa Protectora del Disco

La Chapa protectora del Disco es una lámina metálica situada justo detrás del disco de freno, y fijada directamente a la mangueta (mediante los pequeños orificios justo al lado de cada orejeta de la mangueta).

Su función principal es proteger el disco y la pinza frente a agentes externos tales como piedras, agua, barro, polvo y suciedad proyectada por la rueda desde el asfalto. En algunos diseños de modelos más prestacionales, se utiliza la propia geometría de la chapa protectora para redirigir el flujo de aire con el objetivo de refrigerar el disco. También actúa como protector directo del sensor ABS.

La extracción de este componente es directa mediante el uso de una carraca de vaso 10mm.



Imagen 39 - Extracción Chapa Protectora del Disco de Freno (Elaboración Propia)

6.2.2.6. Extracción del Buje de la Mangueta

En este punto del proceso de desmontaje, el conjunto de la mangueta está formado por la propia mangueta, el Buje, y el Rodamiento del Buje. El componente más accesible en esta fase es el buje.

El buje se extrae formalmente mediante prensas específicas para esta tarea. De nuevo, existe la misma problemática que con el Disco de Freno, por lo que la extracción se realiza con un martillo, aplicando estratégicamente los impactos de manera que se asegura la integridad física total de la mangueta.

El uso de desengrasante líquido supone de gran utilidad durante este proceso.



Imagen 40 - Buje extraído de la mangueta (Elaboración Propia)

6.2.2.7. Extracción del Rodamiento del Buje

El componente final a desacoplar es el rodamiento, insertado a presión en el alojamiento del buje. Si bien el estado actual de la pieza es suficiente para definir la pieza correctamente mediante un escaneado 3D, el interior del alojamiento del buje se encuentra ocupado por el rodamiento. Este es el paso final del proceso de adquisición y desmontaje del conjunto de la mangueta.

La misma problemática presente en el Disco de Freno y el Buje se presenta en este paso final. De nuevo, se empleará un martillo y una estrategia de aplicación de impactos que asegure la integridad total de la mangueta.



Imagen 41 - Rodamiento integrado a presión en la mangueta (Elaboración Propia)

6.2.2.8. Limpieza final de la Mangueta

Finalmente, se limpia la mangueta mediante desengrasante para asegurar su fácil manipulación en el proceso de escaneado 3D.

Véase a continuación la mangueta en su estado final de desmontaje.



Imagen 42 - Mangueta Limpia (Anverso) (Elaboración Propia)



Imagen 43 - Mangueta Limpia (Reverso) (Elaboración Propia)

6.3. Tratamiento de superficies y procesos previos al escaneo

Durante el proceso de escaneo 3D, realizado en el taller de Impresión 3D de la ETSIADI-UPV, surgieron diversos retos relacionados con la captura precisa de la geometría de la pieza.

Pese a la elevada capacidad del escáner EinScan Pro HD, existen ciertas limitaciones asociadas a este tipo de tecnología. Las superficies oscuras, brillantes o transparentes dificultan la detección óptica, pudiendo provocar pérdidas de referencia o imprecisiones durante el escaneo. Dado que la mangueta presenta una tonalidad oscura, fue necesario aplicar un tratamiento superficial previo para mejorar su detección por parte del escáner.

En este caso, se empleó un quitamanchas en aerosol que generaba una fina capa superficial de tonalidad blanquecina, suficiente para homogeneizar el color de la superficie y facilitar la captura de datos.



Imagen 44- Acondicionamiento superficial previo al escaneo 3D (Elaboración Propia)

Gracias a la elevada resolución del escáner, capaz de detectar incluso rugosidades superficiales y grabados presentes en la pieza, este tratamiento resultó suficiente para garantizar una digitalización precisa del componente.



Imagen 45 - Acabado superficial: Preparación para al escaneo 3D (Elaboración Propia)

6.4. Proceso de Escaneado 3D

El proceso de escaneado 3D se realizó con el escáner EinScan Pro HD. La justificación de la elección de este escáner puede ser consultada en el apartado 4.2.1 de la memoria del presente Trabajo de Fin de Grado, así como una breve descripción de las características técnicas del Hardware.

Este escáner incluye un soporte rotatorio que facilita el proceso de escaneado de una pieza. Mediante una posición fija del escáner, la pieza gira alrededor de su propio eje.



Imagen 46 - Soporte Rotatorio Escáner EinScan Pro HD (Elaboración Propia)

Sin embargo, la mangueta de dirección del Ford Focus era demasiado pesada, y superaba la capacidad de peso del soporte. Por esta razón, se empleó el escáner EinScan Pro HD en modo de escaneo libre/manual. Este proceso es sustancialmente más laborioso, y requiere de un empleo manual del hardware, pero los resultados obtenidos son de excelente calidad, propia de un proyecto de ingeniería automotriz.



Imagen 47 - Proceso Manual de Escaneado de la Mangueta (Elaboración Propia)

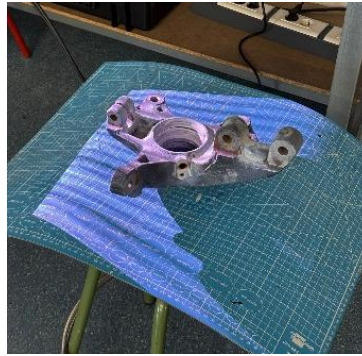


Imagen 48 - Escaneado Manual del Anverso de la Mangueta (Elaboración Propia)

Dadas las dimensiones de la mangueta de dirección del Ford Focus, el escáner tuvo dificultades para encontrar puntos de referencia suficientes que le permitieran realizar el escaneado completo de ambas caras de la pieza.

Por este motivo, una opción viable, y finalmente la vía escogida, consiste en escanear tanto el anverso como el reverso de la pieza por separado, asegurándose de usar como puntos de referencia personales los agujeros, con el objetivo de, posteriormente, acoplar el anverso sobre el reverso en el software de post procesamiento de la malla escogido. Esto permite formar el escaneado total en base a 2 escaneos distintos que comparten puntos de referencia locales. Forma parte indispensable asegurarse de que, efectivamente, el escáner es capaz de encontrar estos puntos comunes previo al comienzo de la limpieza de la nube de puntos.

Véase a continuación ambas nubes de puntos por separado en el software EXScan



Imagen 49 - Nube de Puntos del Reverso de la Mangueta en EXScan (Elaboración Propia)



Imagen 50 - Nube de Puntos del Anverso de la Mangueta en EXScan (Elaboración Propia)

Una fase fundamental del proceso de escaneado consiste en depurar toda aquella sección de la nube de puntos que no corresponde con la pieza sujeta a escaneo. En este caso, la superficie sobre la cual se sostuvo la mangueta fue incluida en el propio escaneo, por lo que, de manera indispensable, tuvo que eliminarse incluso antes de post procesar la malla en MeshLab.



Imagen 51 - Limpieza Nube de Puntos en EXScan (Elaboración Propia)

6.5. Procesamiento de la malla

A continuación, se muestra tanto el anverso como el reverso de la malla de la mangueta tras el escaneado 3D. Tal y como se ha especificado previamente, dicha operación ha sido realizado en 2 secciones distintas de la pieza.



Imagen 52 - Malla Anverso Mangueta (Elaboración Propia)

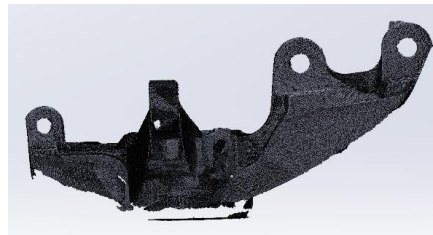


Imagen 53 - Malla Anverso de la Mangueta (Vista de Perfil) (Elaboración Propia)



Imagen 54 - Malla Reverso de la Mangueta (Elaboración Propia)



Imagen 55 - Malla Reverso de la Mangueta (Vista de Perfil) (Elaboración Propia)

Véase adicionalmente una muestra del nivel de detalle obtenido mediante el proceso de escaneo 3D, garantizando un nivel de precisión geométrica excelente. Se trata de una malla de 1.169.770 caras de densidad.



Imagen 56 - Muestra de la Densidad de la Malla tras el Escaneado 3D (Elaboración Propia)

El siguiente objetivo comprende la superposición de ambas mallas en base a puntos de referencia comunes y conocidos. Este proceso se realiza en MeshLab, un software de Código Libre explícitamente diseñado para la manipulación de mallas 3D y su posterior exportación como archivo STL, una vez superpuestas las mallas y unificadas en un único cuerpo.

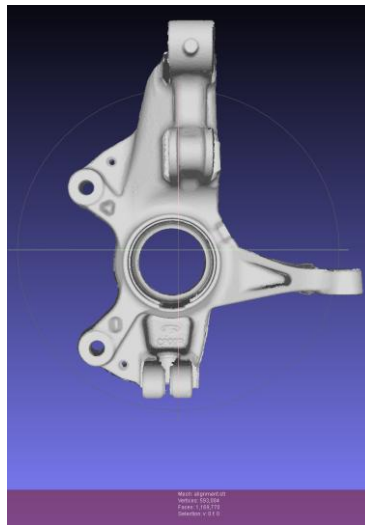


Imagen 57 - Malla unificada y superpuesta de la mangueta (Elaboración Propia)

7. Ingeniería Inversa y Modelado CAD de la Mangueta Original

7.1. Importación y alineación de la malla STL en Autodesk Fusion

Tras superponer el anverso y el reverso de la mangueta escaneada, y unir ambas partes en una única superficie, se importa el modelo en formato STL en Autodesk Fusion.

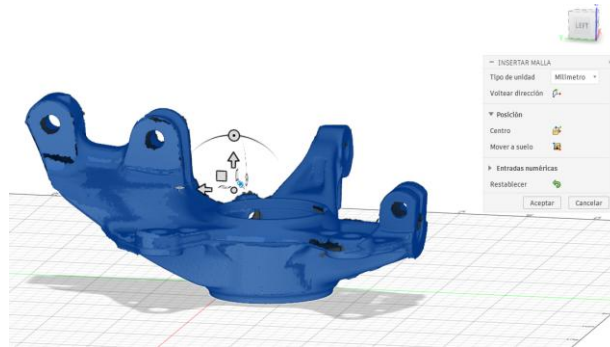


Imagen 58 - Proceso de Importación de la Malla en Autodesk Fusion (Elaboración Propia)

Como se puede comprobar, el eje de coordenadas global del proyecto no coincide con el origen local de la pieza, por lo que es indispensable orientar la pieza respecto a los planos de referencia originales, así como posicionar la mangueta exactamente en el origen del entorno tridimensional, de manera que el eje central que atraviesa virtualmente el alojamiento del buje alinee con el eje vertical Z del software.

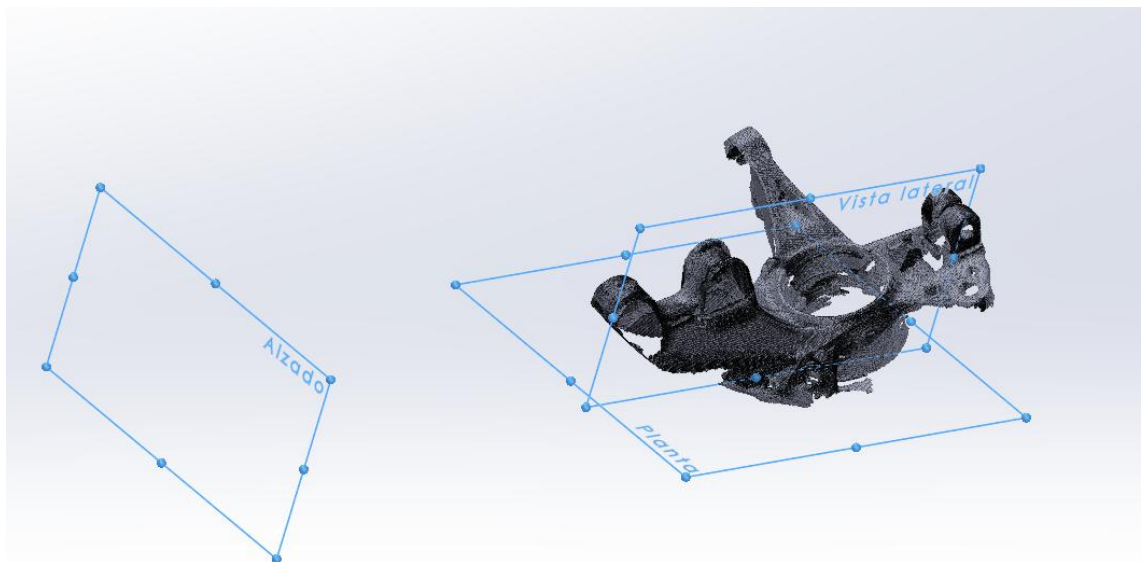


Imagen 59 - Muestra de Problemas de Alineación con el Origen del Eje de Coordenadas (Elaboración Propia)

Autodesk Fusion permite trabajar directamente con los vértices y caras pertenecientes a una malla. Por ello, el proceso de alineación de la mangueta se realiza en el modo de edición directa de malla. Por el momento, no se dispone ni de sólidos ni superficies con las que trabajar.

Para alinear la mangueta de manera precisa, se genera un plano en base a 3 puntos extraídos directamente de la base de la malla de la mangueta, formando de esta manera un nuevo Plano XY u Horizontal.

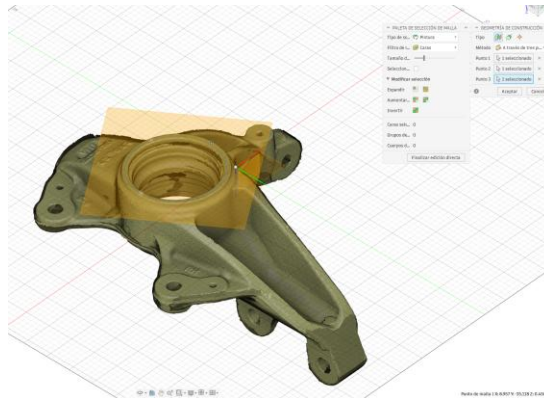


Imagen 60 - Proceso de Alineación de la Malla – Definición Plano XY (Elaboración Propia)

Se repite el proceso con el objetivo de generar un nuevo plano Vertical XZ. En este caso, se extraen los 3 puntos necesarios para definir un plano de los anclajes mecanizados del brazo de suspensión.

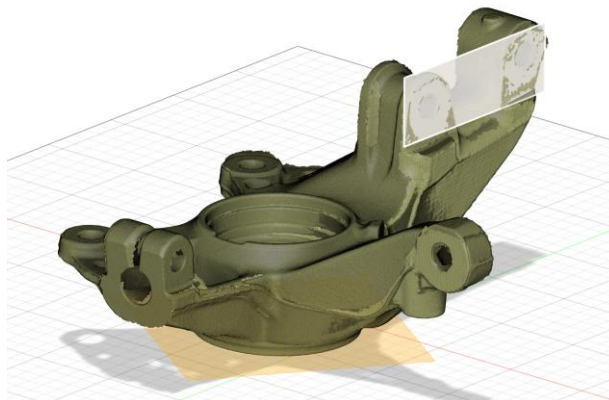


Imagen 61 - Proceso de Alineación de la Malla – Definición Plano XZ (Elaboración Propia)

La definición de ambos planos XY y XZ constituye una etapa fundamental e indispensable en el proceso de alineación de la pieza, pues nos permitirá alinear ambos planos con los planos originales XY y XZ del proyecto.

Una vez definidos ambos planos, se procede a desplazar la pieza de su posición actual para orientarla de manera precisa en el origen de coordenadas.

Estamos trabajando con el componente principal del proyecto en Autodesk Fusion, por lo que el software rechaza cualquier intento de desplazamiento. Con el objetivo de evitar este comportamiento, se desbloquea la pieza, lo cual permite su libre manipulación.

Para alinear la pieza al origen de coordenadas, se emplea la herramienta “Alinear”, para cada plano. Primero, se procede con el plano horizontal, se selecciona la malla de la mangueta como “Objeto”. Se selecciona el plano XY como “Desde”, y se selecciona el plano XY del Origen como “A”.

Se repite este proceso con el plano XZ y su respectivo plano XZ del Origen.

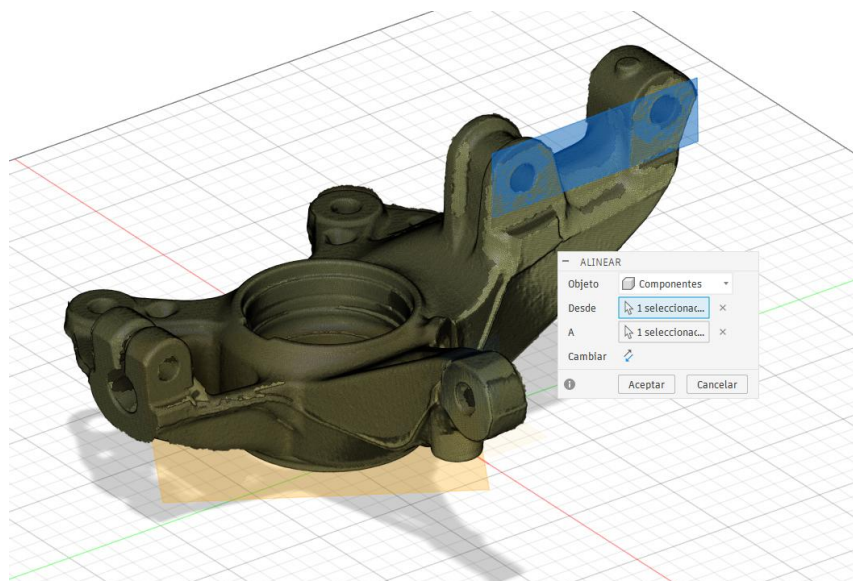


Imagen 62 - Proceso de Alineación de la Malla – Herramienta Alinear (Elaboración Propia)

Tras estas operaciones, el centro de buje debe de estar en el origen de coordenadas (0,0,0) de tal manera que alineen tanto el eje virtual que atraviesa el centro del buje, como el eje vertical Z del Origen de coordenadas. Para ello, se emplea la herramienta “Mover/Copiar” con tipo de operación de “Punto a Punto” para mover la pieza horizontalmente de forma precisa y exacta.

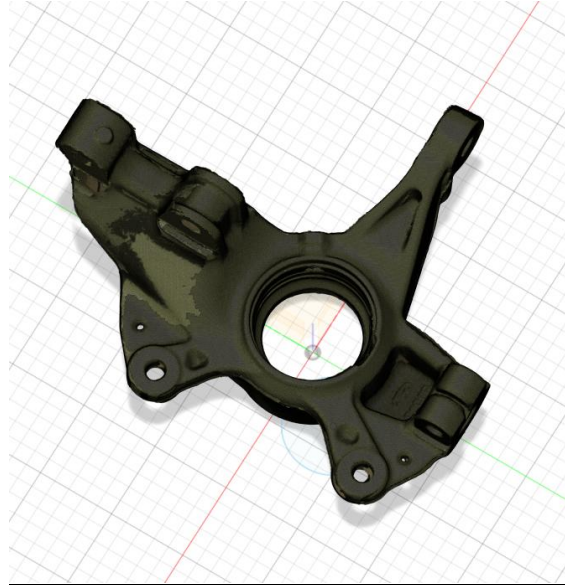


Imagen 63 - Proceso de Alineación de la Malla – Malla Alineada y Centrada (Elaboración Propia)

Aquí concluye el proceso de alineación de la pieza, requisito indispensable para poder comenzar el proceso de digitalización CAD.

Con la pieza en este estado, se puede trabajar en verdadera magnitud.

7.2. Modelado CAD de la Mangueta en Autodesk Fusion

Una vez orientada y alineada la malla original, comienza el proceso de modelado 3D en un entorno CAD tal y como Autodesk Fusion, software elegido para esta tarea. Véase en el apartado 5.2.3 de la justificación técnica de la elección de dicho software, así como una breve descripción de las capacidades del mismo.

7.2.1. Definición del Buje

El Alojamiento del Rodamiento del Buje constituye la parte central y uno de los elementos más importantes y representativos de una mangueta de dirección. Por ello, el proceso de modelado CAD comienza con la definición de este mediante una revolución.

Para ello, se debe obtener un croquis conciso y definido del perfil a revolucionar. Ya que estamos trabajando con la malla precisa, densa y detallada procedente del escaneado 3D, y que está totalmente orientada, podemos trabajarla con verdadera magnitud.

Con la herramienta “Crear Boceto de Sección de Malla”, se define un boceto de la sección de la mangueta, justo por donde la pieza atraviesa el plano XZ Vertical. Esto permite la directa obtención de la sección a revolucionar.

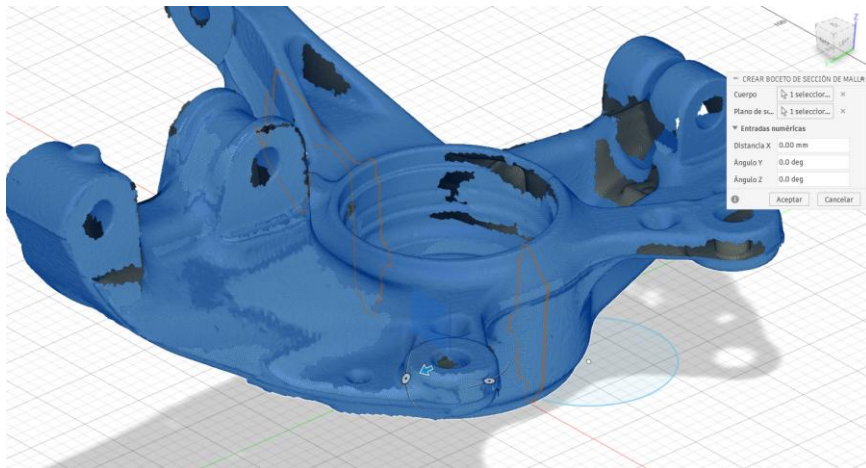


Imagen 64 - Modelado CAD – Obtención Perfil del Buje (Elaboración Propia)

Sin embargo, esta operación no es suficiente, ya que referencia geometría procedente de la malla escaneada, que a pesar de su gran precisión, puede contener pequeñas irregularidades, así como dimensiones no acotadas. Además, los trazados generados por la herramienta “Crear Boceto de Sección de Malla” están bloqueados, porque referencia directamente geometría de la malla.

De esta manera, el siguiente paso para la obtención del perfil de revolución consiste en la definición de curvas y trazados acotables en base a la información disponible. Esto permite evitar imperfecciones del escaneado y trabajar con perfiles y superficies limpias y mecanizadas.

Se realiza la revolución mediante la herramienta “Revolución”, seleccionando el perfil definido anteriormente, y el eje vertical Z como “Eje” de revolución. Esta operación se realiza alrededor de 360° de “Ángulo” con el objetivo de obtener un “Cuerpo Nuevo”.

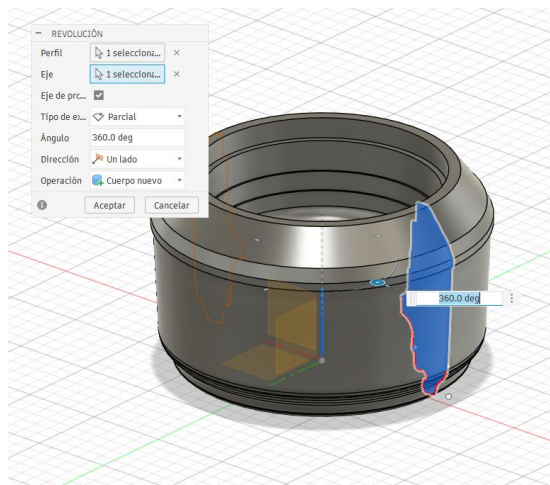


Imagen 65 - Modelado CAD – Obtención del Buje mediante Revolución (Elaboración Propia)

7.2.2. Definición de las Orejetas de las Pinzas de Freno

La siguiente zona crítica a modelar de la mangueta son las 2 orejetas de las Pinzas de Freno. El proceso para modelarlas y obtener su sección es similar al del Buje, pero en lugar de emplear la operación de “Revolución”, se utilizará la “Extrusión”.

Con la herramienta “Crear Boceto de Sección de Malla”, se define un boceto de la sección de la mangueta por donde un plano paralelo a XY atraviesa las orejetas y brazos de las Pinzas de freno. Esto permite la directa obtención en verdadera magnitud de la sección a extruir.

De nuevo, esta sección ha de acotarse adecuadamente para obtener un croquis válido en la operación de extrusión. Finalmente, se emplea la herramienta “Extruir”, seleccionando ambas circunferencias previamente acotadas, y se

extruye verticalmente una “Distancia” de 9.3mm, alineándose de esta manera con la malla de la mangueta. Esta operación se realiza en modo de dirección “Simétrico”.

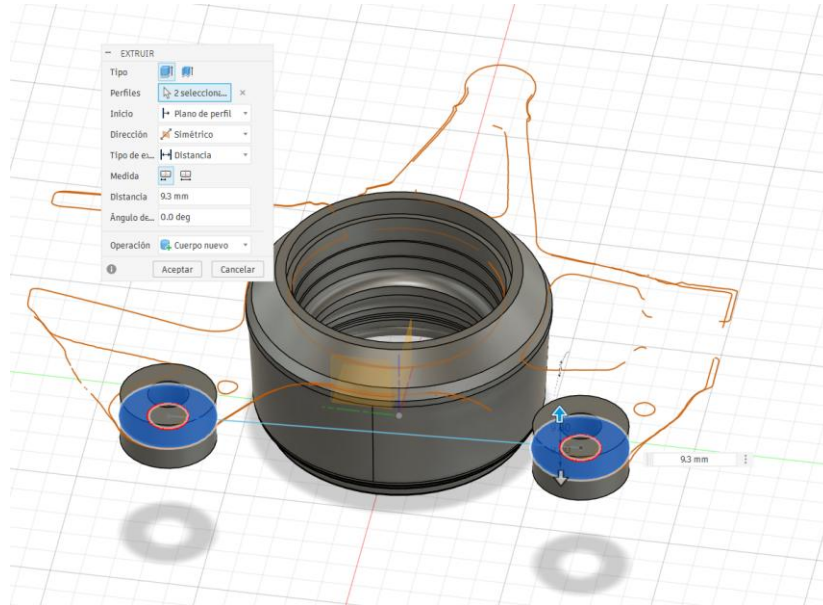


Imagen 66 - Modelado CAD – Extrusión Anclajes/Orejetas Pinzas de Freno (Elaboración Propia)

7.2.3. Definición de Geometría de Soporte y Nexos de Unión con el Buje

Asimismo, el mismo boceto de sección utilizado para la definición de los anclajes u orejetas de las pinzas de freno se puede emplear para la extrusión de Geometría que sirve como soporte y nexo de unión de los demás elementos de la mangueta con el Buje: Brazos de Pinzas, Brazo de Dirección, Brazo de suspensión, Brazo de la Rótula Inferior. Esta etapa se realiza mediante la herramienta “Extruir”.



Imagen 67 - Modelado CAD – Extrusión Geometría de Soporte (Elaboración Propia)

La extrusión de esta geometría permite unificar ambos cuerpos, previamente separados, en un único sólido sobre el que poder seguir trabajando.

7.2.4. Extrusión de Brazos de la Pinza

Se realiza un boceto paramétrico basándose en la geometría original de la malla de los brazos de las orejetas de la pinza de freno.

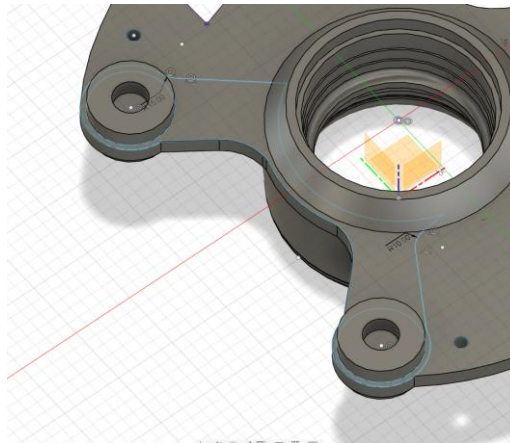


Imagen 68 - Modelado CAD – Boceto Brazos de la Pinza de Frenos (Elaboración Propia)

Se obtiene la geometría mediante una operación de extrusión.

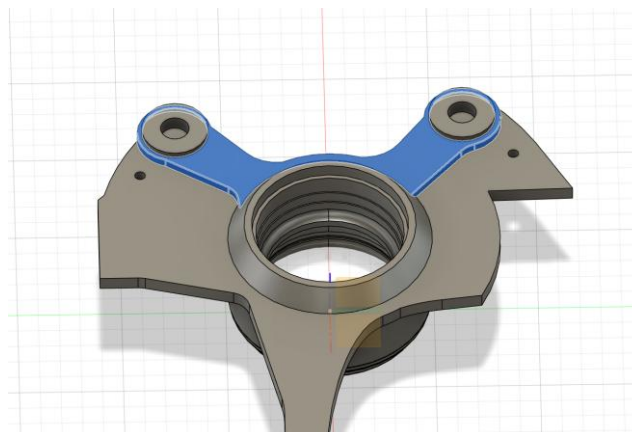


Imagen 69 - Modelado CAD – Extrusión Brazos de la Pinza de Frenos (Elaboración Propia)

7.2.5. Corte de Anclajes de la Chapa Protectora del Disco

Sobre la superficie generada, y mediante la herramienta “Extruir” en modo de operación de tipo “Corte”, se generan los anclajes de la chapa protectora del disco. La generación del boceto de estos agujeros totalmente acotados y definidos consiste en el uso de la sección de malla obtenida en el paso 2.2 de este Anejo C.



Imagen 70 - Modelado CAD – Anclajes de la Chapa Protectora del Disco (Elaboración Propia)

7.2.6. Obtención del Brazo de Dirección

El boceto de sección de malla contiene, entre otros, el brazo de dirección. En esta etapa del modelado CAD de la mangueta, se dibuja por separado el perfil del brazo de dirección y, mediante una operación de Intersección de ambos bocetos, se obtiene de manera limpia y precisa el brazo de dirección totalmente definido y acotado paramétricamente.

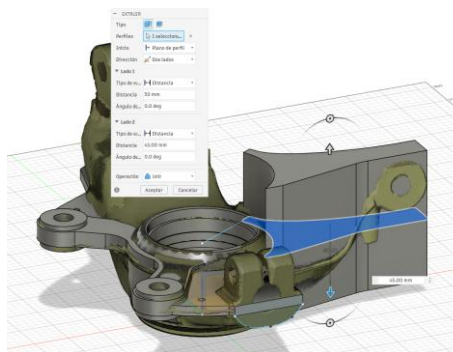


Imagen 71 - Modelado CAD – Extrusión Brazo de Dirección (Elaboración Propia)

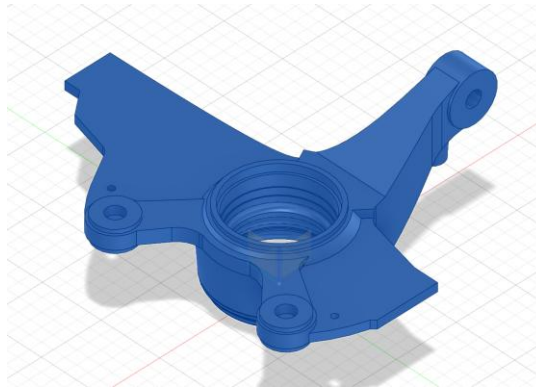


Imagen 72 - Modelado CAD – Intersección y Obtención del Brazo de Dirección (Elaboración Propia)

En esta etapa, se mecanizan también los anclajes de la dirección y otros detalles.

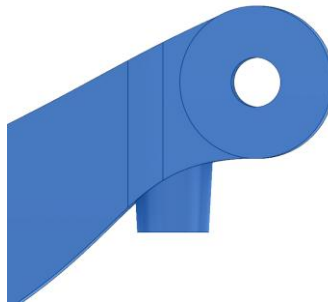


Imagen 73 - Modelado CAD – Mecanizado Anclaje de Dirección (Elaboración Propia)

Con el objetivo de mejorar las transiciones de la geometría y obtener morfologías más limpias y orgánicas, se utiliza la herramienta “Empalmar”, la cual permite una transición suave entre la geometría de soporte del Buje y el propio brazo de dirección de la mangueta.

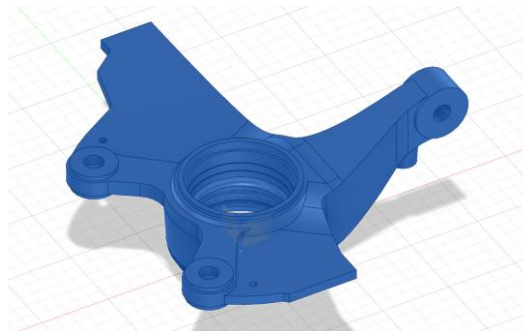


Imagen 74 - Modelado CAD – Transición Orgánica del Brazo de Dirección (Elaboración Propia)

Adicionalmente, el brazo de suspensión cuenta con un pequeño vaciado en la parte superior que se replica mediante una extrusión de un boceto definido en función a las dimensiones originales de la malla. Operaciones de este tipo son interesantes porque sugieren un intento por parte de Ford de reducir la masa no suspendida de la mangueta con el objetivo de aligerarla sutilmente. Sin embargo, todavía se encuentra sobredimensionada en muchas otras zonas localizadas de la misma.

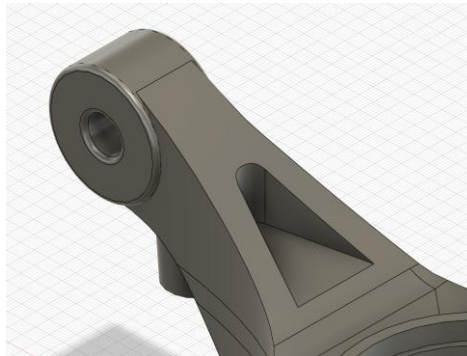


Imagen 75 - Modelado CAD – Extrusión Vaciado del Brazo de Dirección (Elaboración Propia)

7.2.7. Obtención de la Rótula Inferior

El proceso de modelado y parametrización CAD de la rótula Inferior es muy similar al proceso de obtención del brazo de dirección. El boceto de sección de malla obtenido en el apartado 2.2 de este mismo Anejo C, y su posterior extrusión, incluye la base geométrica de la rótula inferior, que debe ser extruida.

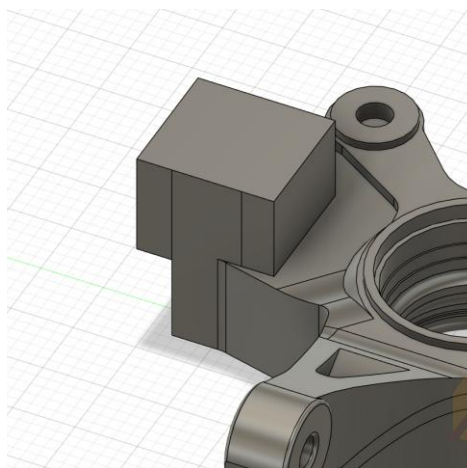


Imagen 76 - Modelado CAD – Extrusión Rótula Inferior (Elaboración Propia)

De este modo, se obtiene un bloque macizo completamente rectangular, que no es el objetivo de este subapartado. Para subsanar esto,

generamos el perfil, de nuevo, acotado a las dimensiones precisas de la malla original, con el objetivo de generar una operación de “Intersección” que permita la obtención de una morfología de mayor similitud a la Rótula Inferior original.

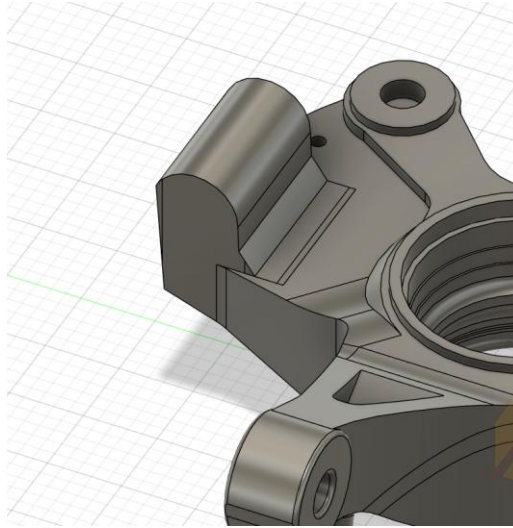


Imagen 77 - Modelado CAD – intersección Rótula Inferior (Elaboración Propia)

Al igual que en el brazo de dirección, en la rótula inferior se observan intentos por parte de Ford de reducir la masa no suspendida de la mangueta, en este caso de manera mucho más agresiva que anteriormente.

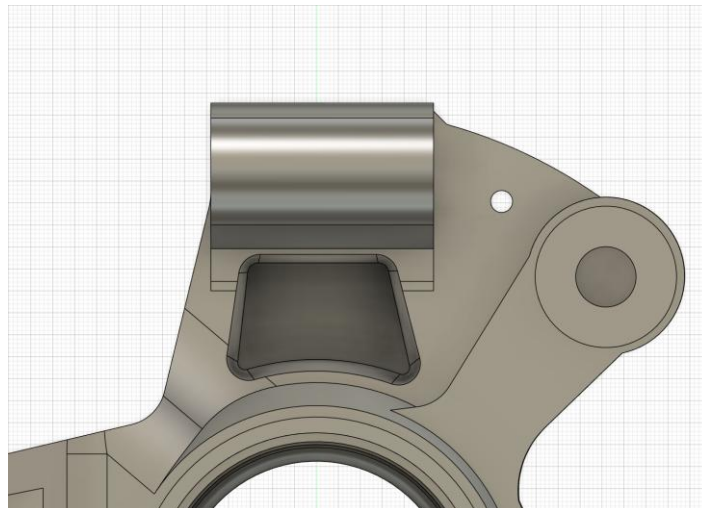


Imagen 78 - Modelado CAD – Optimización Rótula Inferior (Elaboración Propia)

A su vez, durante esta etapa se mecanizan anclajes y agujeros propios de la Rótula Inferior. Todas estas operaciones se realizan mediante la herramienta “Extruir” en modo de Operación de tipo “Corte”.

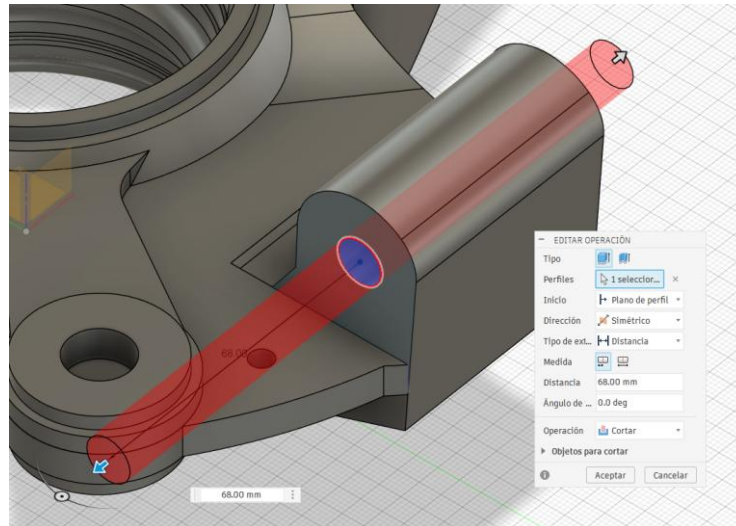


Imagen 79 - Modelado CAD – Operación de Corte Transversal Anclajes Rótula Inferior (Elaboración Propia)

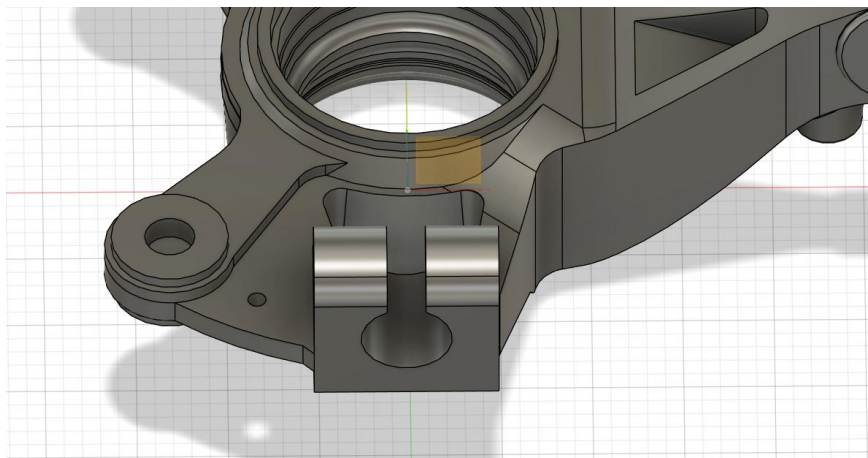


Imagen 80 - Modelado CAD – Operación de Corte Longitudinal Anclajes Rótula Inferior (Elaboración Propia)

7.2.8. Definición del Brazo de Suspensión

El brazo constituye una de las zonas más sobredimensionadas e infrautilizadas del diseño global de la mangueta, y supone, a su vez, la morfología más orgánica de la pieza. Esta morfología no puede obtenerse a través de Extrusiones y Redondeos. Con el objetivo de obtener una geometría orgánica, fluida, y fiel representante de manera precisa del brazo original de suspensión, se ha empleado la operación “Solevación” o “Loft” en inglés. Para ello, se ha definido un total de 4 perfiles y 2 raíles que guían la dirección de solevación.

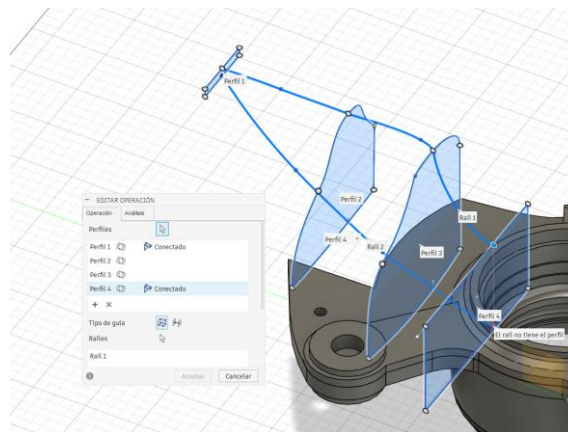


Imagen 81 - Modelado CAD - Operación Solevación Brazo de Suspensión (Elaboración Propia)

Cada uno de estos perfiles se ha obtenido mediante el proceso habitual de ingeniería inversa de “Creación de Bocetos de Sección de Malla” de la mangueta original.

Los raíles se han formado mediante proyecciones idénticas del contorno y la silueta de la mangueta mediante bocetos de sección.

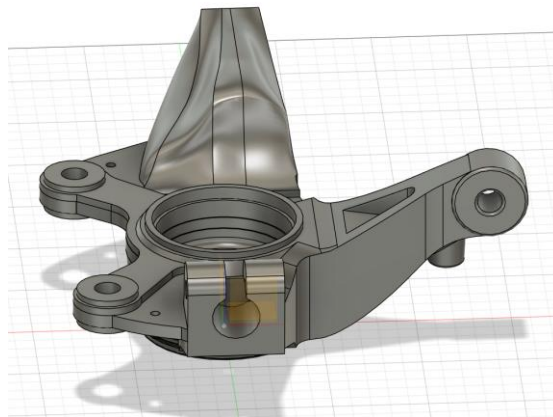


Imagen 82 - Modelado CAD – Solevación Brazo de Suspensión (Elaboración Propia)

El brazo de suspensión está formado de la sección inferior, una geometría orgánica que finaliza su trazado en 2 anclajes mecanizados y acotados. Estos se generan mediante una extrusión simétrica respecto al eje central que atraviesa el brazo de suspensión.



Imagen 83 - Modelado CAD – Anclajes del Brazo de Suspensión (Elaboración Propia)

Empleando de nuevo la herramienta extruir, se genera, desde el centro del eje que atraviesa el brazo de suspensión la geometría aplicando un desfase. Esta zona constituye otro pequeño intento de optimización topológica por parte de Ford.

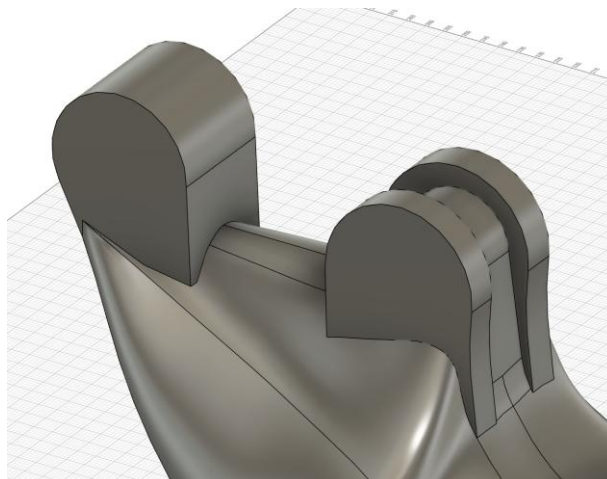


Imagen 84 - Modelado CAD – Optimización Topológica Leve en Anclaje del Brazo de Suspensión (Elaboración Propia)

Finalmente, se mecanizan los agujeros en los anclajes superior e inferior de la suspensión, mediante la herramienta “Extruir” en modo de operación de tipo “Corte”.

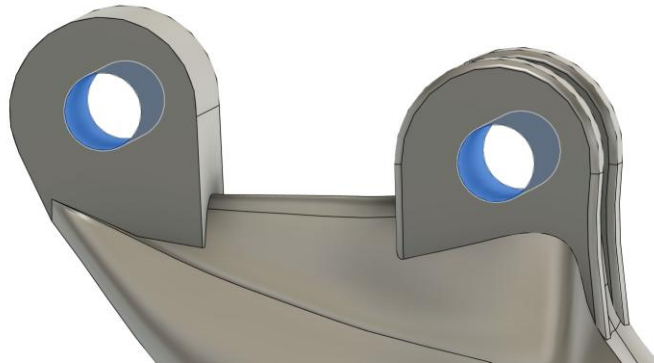


Imagen 85 - Modelado CAD – Corte de Anclajes del Brazo de Suspensión (Elaboración Propia)

7.2.9. Alojamiento del Sensor ABS

Otro de los componentes claves que se alojan en la mangueta de dirección es el Sensor ABS. Este se incorpora en su propia geometría perforada.

Se genera mediante una extrusión a 45 grados respecto al eje Z.

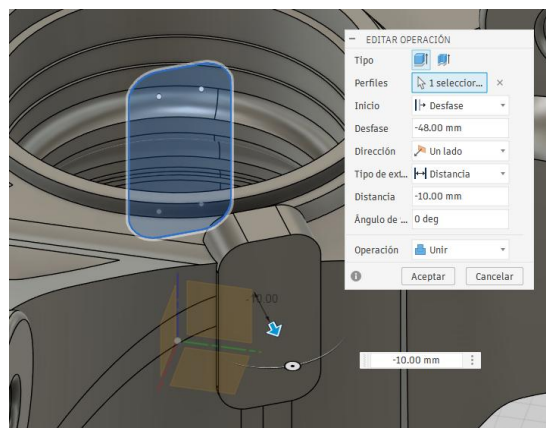


Imagen 86 - Modelado CAD – Extrusión Alojamiento Sensor ABS (Elaboración Propia)

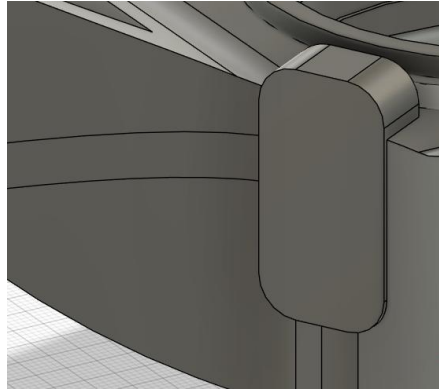


Imagen 87 - Modelado CAD –Alojamiento Sensor ABS (Elaboración Propia)

Finalmente, se mecaniza el alojamiento del sensor ABS mediante una operación de corte que atraviesa tanto la propia estructura del alojamiento como el buje.

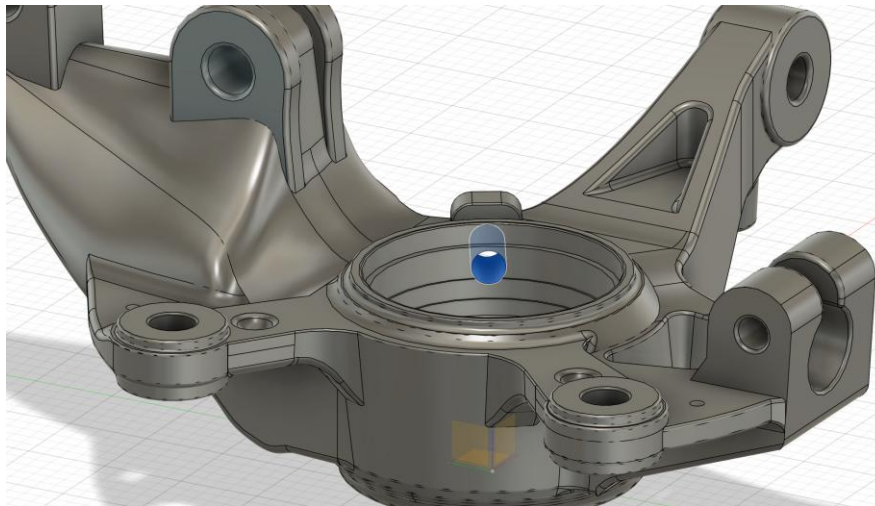


Imagen 88 - Modelado CAD – Mecanizado de Anclaje en Alojamiento Sensor ABS (Elaboración Propia)

7.2.10. Geometría Adicional y Nervaduras

Se modelan secciones mecanizadas como el reverso de los anclajes de la Pinza de Freno y la Chapa Protectora del Disco mediante una extrusión, así como la transición suave y orgánica que actúa como nervio entre el propio brazo de la pinza y el cuerpo central de la mangueta. Esta última operación se lleva a cabo mediante un Redondeo o Empalme.

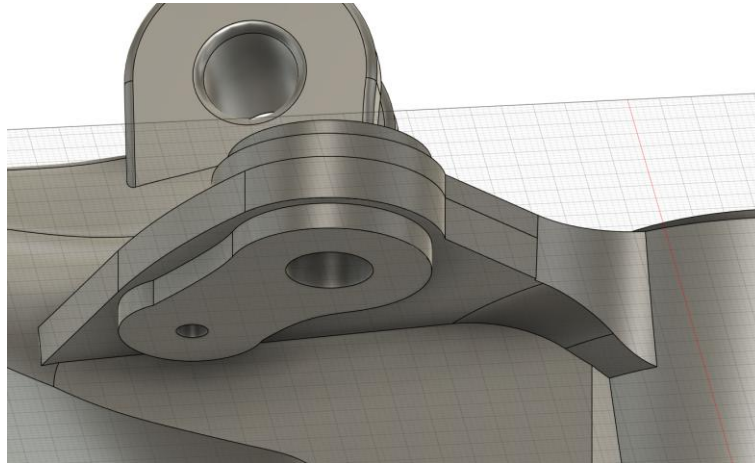


Imagen 89 - Modelado CAD – Geometría Adicional y Nervios en los Brazos de Pinza (Elaboración Propia)

7.2.11. Redondeos y Transiciones Orgánicas

La mangueta del Ford Focus Active 2021 sujeta a estudio presenta secciones que combinan superficies lisas, limpias y mecanizadas, con otras sustancialmente orgánicas. Las transiciones entre este tipo de secciones, así como entre todos los elementos de la mangueta han de ser suaves y optimizadas, ajustándose a la morfología original de la mangueta.

Para ello se emplea la herramienta “Empalme” o “Redondeo”, que nos permite suavizar aquellas “Aristas Vivas” y suavizar la transición entre elementos de la mangueta.

Además, cabe destacar que los redondeos/empalmes realizados no son acabados puramente estéticos, sino que desempeñan un papel crucial en la eliminación de artefactos en la posterior simulación de esfuerzos a realizar sobre la mangueta. Las aristas vivas, generalmente, suelen aumentar las probabilidades de resultados que muestran picos de tensión irreales en un modelo CAD.

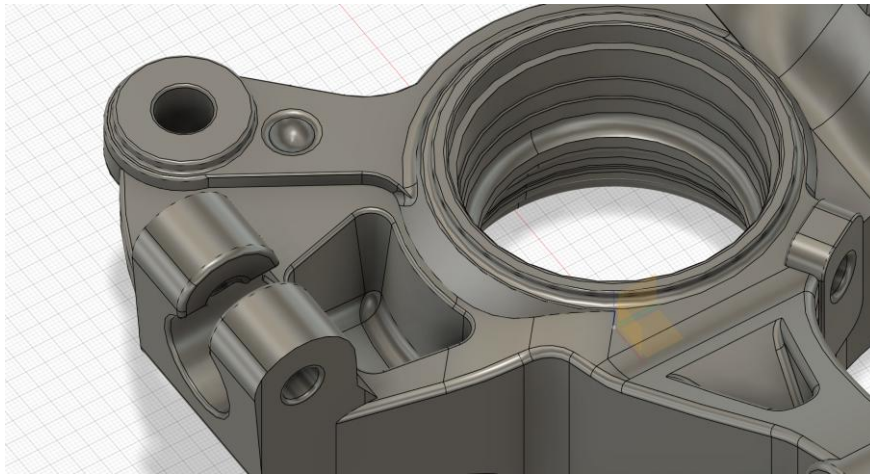


Imagen 90 - Modelado CAD – Digitalizado de Transiciones Orgánicas Finales (Elaboración Propia)

7.2.12. Optimizaciones Topológicas Adicionales

Como etapa final del modelado CAD de esta mangueta, se procede al vaciado sistemático y su posterior redondeo, a efectos de lo comentado en el subapartado anterior.

Esta etapa es especialmente interesante ya que permite visualizar de manera directa las medidas que Ford ha tenido en cuenta a la hora de diseñar la mangueta del Focus. Se observan esfuerzos notables e incluso agresivos en determinadas zonas por aligerar la pieza y reducir la masa no suspendida. Sin embargo, la hipótesis declarada anteriormente respecto al sobredimensionamiento e infrautilización de la mangueta, incluso después de estos intentos de optimización, sigue en pie.

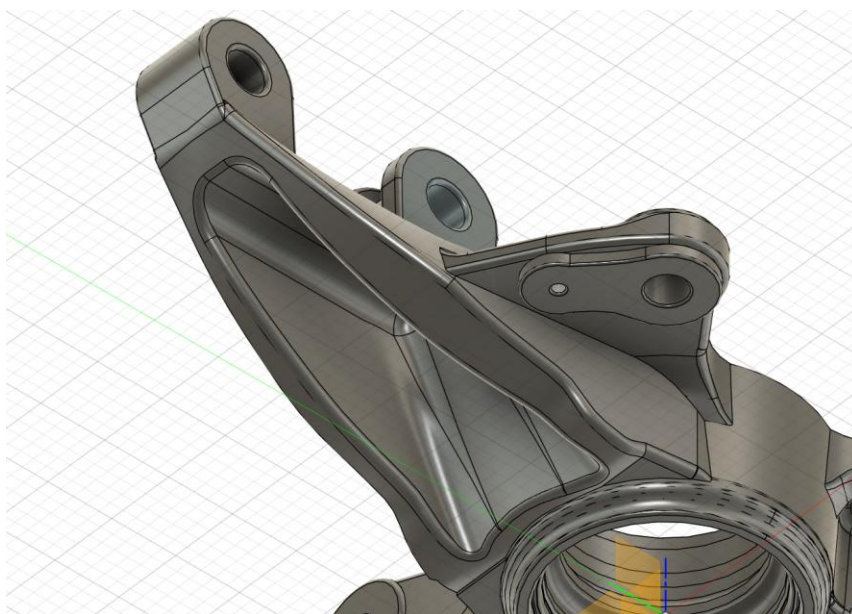


Imagen 91 - Modelado CAD – Vaciado en “U” Brazo de Suspensión (Elaboración Propia)

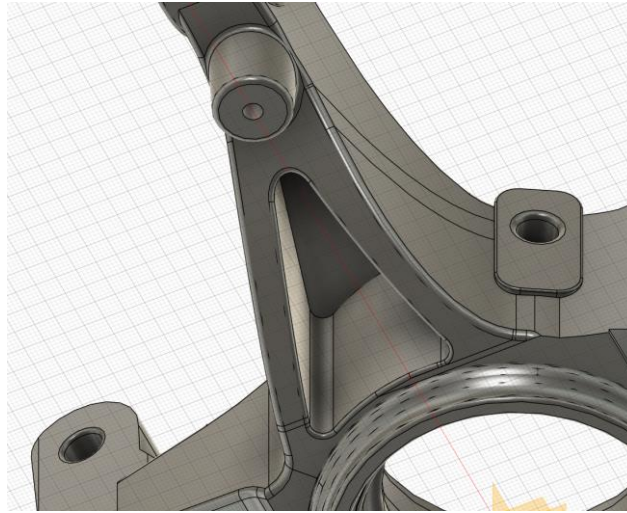


Imagen 92 - Modelado CAD – Vaciado Brazo de Dirección (Elaboración Propia)



Imagen 93 - Modelado CAD – Vaciado Rótula Inferior (Elaboración Propia)

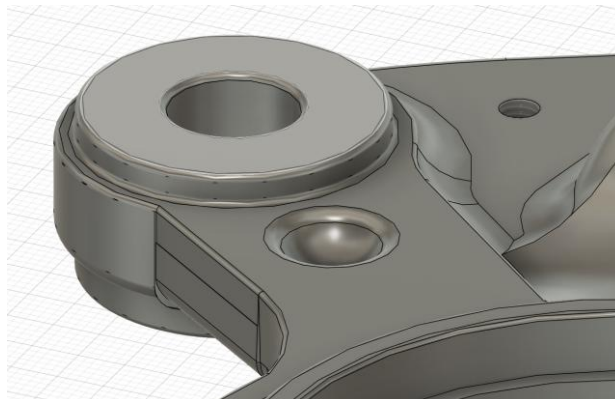


Imagen 94 - Modelado CAD – Hendiduras Esféricas Brazos de Pinza (Elaboración Propia)

7.3. Obtención del modelo CAD sólido final de la pieza de desguace

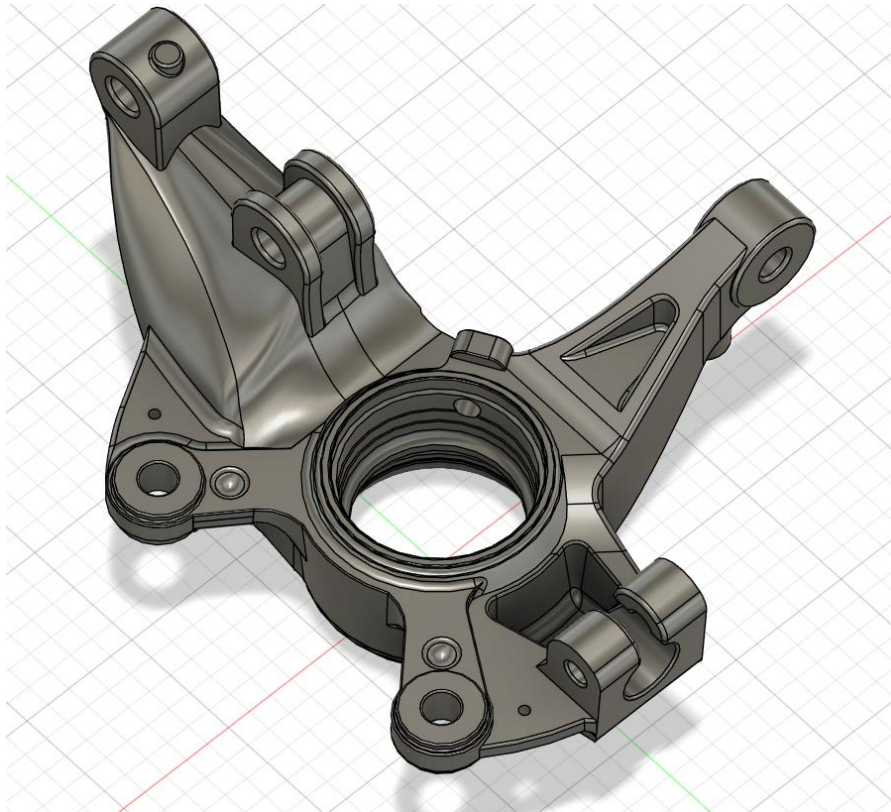


Imagen 95 - Modelado CAD Mangueta Original (Anverso) (Elaboración Propia)

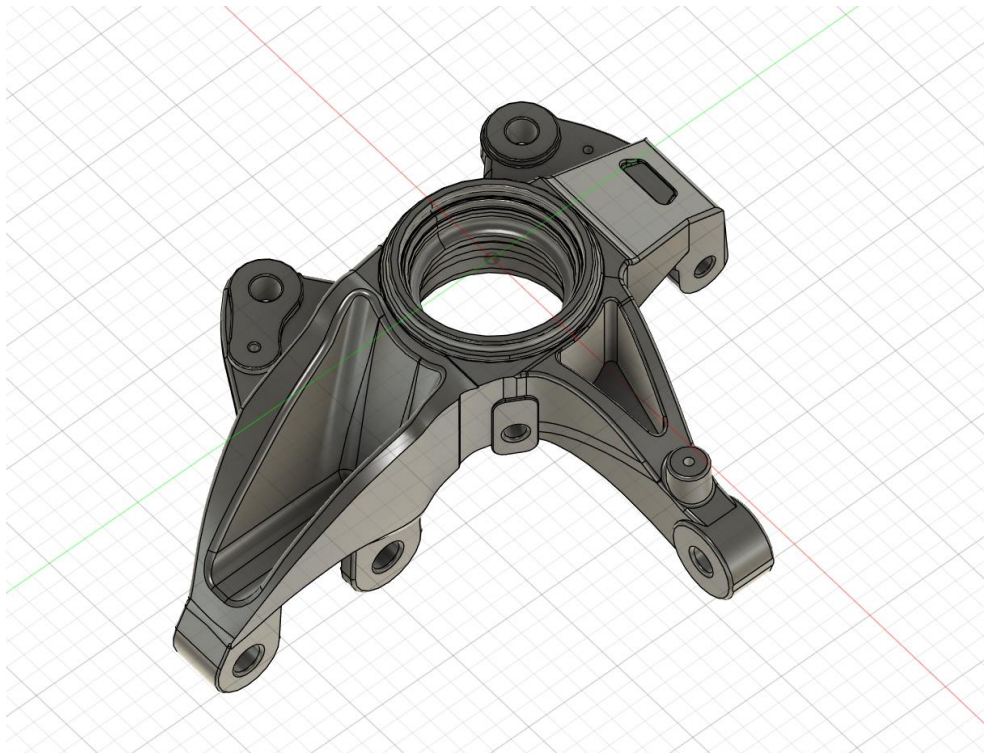


Imagen 96 - Modelado CAD Mangueta Original (Reverso) (Elaboración Propia)

7.4. Propiedades y Características Principales del modelo CAD

Una vez desarrollado el modelo paramétrico de la mangueta original del Ford Focus Active 2021, se obtiene acceso a propiedades e información de la propia pieza, tales como el volumen, peso, momentos de inercia, entre otros.



Imagen 97 - Propiedades del Modelado CAD Mangueta (Elaboración Propia)

A efectos de este Trabajo de Fin de Grado, cuyo objetivo es aplicar estrategias de aligeramiento, reducción de peso y emisiones de dióxido de carbono, la principal propiedad a considerar es la masa, siendo en este caso un total de 6288kg. Una vez realizado el rediseño de la mangueta, compararemos la masa original con la masa final para establecer el porcentaje de reducción de masa alcanzado.

8. Definición de Cargas y Esfuerzos

8.1. Modelización matemática y transferencia de pesos en el vehículo

Los cálculos de cargas y esfuerzos que la mangueta soportará están directamente relacionados al propio peso del vehículo escogido. En el caso de este estudio, nos referimos al Ford Focus Active 2021 125cv Manual de 6 velocidades. La masa de este automóvil es de 1322kg (Valor extraído de las especificaciones técnicas oficiales de Ford para el Focus mk4 2021).

Focus 5-door							
	Kerb weight (kg) [#]	Gross Vehicle Mass (kg)	Gross Train Mass (kg)	Max. Towable Mass (braked) (kg)	Max. Towable Mass (unbraked) (kg)	Nose weight (kg)	Roof load (kg)
1.0 EcoBoost 85 PS 6-speed manual	1322	1855	2955	1100	660	90	75
1.0 EcoBoost 100 PS 6-speed manual	1322	1855	2955	1100	660	90	75
1.0 EcoBoost 125 PS 6-speed manual	1322	1855	2955	1100	660	90	75
1.0 EcoBoost 125 PS 8-speed automatic	1371	1905	3205	1300	685	90	75
1.5 EcoBoost 150 PS 6-speed manual	1369	1890	3390	1500	680	90	75

Imagen 98 - Extracción de la Masa del Ford Focus Active 2021 (Ford)

Kerb Weight (Denominado peso en vacío o tara en español) comprende el peso total de un vehículo incluyendo todo su equipamiento de fábrica, así como los líquidos y fluidos necesarios para operar (refrigerante, aceite, líquido de frenos, tanque de combustible lleno...). No se incluyen en este valor ni el peso del conductor, ni el peso de los pasajeros o cargas adicionales.

De esta manera, se halla nuestro dato principal sobre el cual comenzarán todos los cálculos pertinentes:

$$m_{Focus} = 1322kg$$

Este proyecto se centra en el análisis de la mangueta delantera derecha. Identificar el eje es indispensable, ya que la distribución de masas difiere entre ambos. Dado que Ford no publica el reparto exacto para el Focus Active 2021 (1.0 EcoBoost 125CV, manual), se ha estimado una relación de 60:40. Este valor es el estándar para vehículos del segmento C con motor transversal y tracción delantera, y se alinea con las mediciones de otros modelos que comparten la plataforma C2 del fabricante.

$$Reparto de Pesos = 60:40$$

Es decir, el eje delantero soporta el 60% del peso total del vehículo, mientras que el eje trasero soporta el 40% restante.

Así pues, podemos calcular el peso que soporta el eje delantero, y consecuentemente el peso que soporta la rueda delantera derecha.

$$m_{eje\ delantero} = \frac{m * 60}{100}$$

$$m_{eje\ delantero} = \frac{1322 * 60}{100}$$

$$m_{eje\ delantero} = 793,2Kg$$

$$m_{Rueda\ Derecha\ Delantera} = \frac{m_{eje\ delantero}}{2}$$

$$m_{Rueda\ Derecha\ Delantera} = \frac{793,2Kg}{2}$$

$$m_{Rueda\ Derecha\ Delantera} = 396,6Kg$$

De esta manera se justifica que, la masa a utilizar para los cálculos de cargas y esfuerzos es de 396,6kg.

A partir de ahora, se entenderá como carga estática de la rueda la siguiente expresión:

$$1 * m * g = 396,6g$$

8.2. Hipótesis cinemáticas y simplificaciones del modelo

Para evaluar la mangueta bajo condiciones extremas de uso, se definen los siguientes casos:

- Frenado Máximo
- Giro Máximo
- Bache Máximo
- Frenado Máximo en Curva (Frenado + Giro Máximo)
- Bache Máximo en Curva (Bache + Giro Máximos)
- Caso Combinado (Frenado + Giro + Bache Máximos)

Se asume, por tanto, que los casos más severos tienen lugar cuando el vehículo rueda hacia adelante. Despreciamos los estudios de los esfuerzos de la mangueta cuando el vehículo circula en reversa.

A efectos de este análisis, se asumen las siguientes simplificaciones cinemáticas en el modelo:

- **Desprecio de las transferencias de carga:**

Con el objetivo de simplificar el cálculo general de los escenarios de estudio, no se considerarán las variaciones dinámicas de carga. En condiciones reales, la inercia provoca un cabeceo del chasis del vehículo hacia el eje delantero durante el frenado. Asimismo, en fase de curva, se genera una transferencia de masa hacia el exterior del viraje, siendo el neumático exterior el que soporta la mayor exigencia del eje (configurando el escenario más crítico de carga). Como medida simplificadora, se obviarán estos efectos, adoptando una distribución de masa constante para todos los casos analizados, para compensar esta simplificación y garantizar que el componente resistirá en condiciones reales, los valores de las fuerzas aplicadas en los escenarios dinámicos (Frenado Máximo, Giro Máximo y Bache) incorporan un coeficiente de amplificación mayorado que cubre sobradamente estas transferencias de masa de forma conservadora.

- **Cálculo de momentos automatizado:**

Para llevar a cabo este estudio, solo necesitaremos hallar las fuerzas que actúan sobre la mangueta. Estas fuerzas se aplican sobre sus líneas de acción reales, y el motor de simulaciones de Autodesk Fusion calcula y resuelve todos los momentos del modelo.

- **Simplificación de uniones y exclusión de cargas de montaje:**

Se ha prescindido de modelar el par de apriete de todos los elementos acoplados a la mangueta. Esto incluye las conexiones de la suspensión, el sistema de dirección, las rótulas articuladas y la pinza de freno. Al tratarse de un análisis enfocado en el comportamiento dinámico y operativo de la mangueta, y no en el comportamiento local de las uniones atornilladas o encajadas, se omite las tensiones generadas por estos componentes. Las interacciones de la suspensión, dirección y frenado se simplifican aplicando únicamente fuerzas puras en los puntos de sujeción correspondientes, eliminando la necesidad de introducir momentos o torques de apriete en el modelo.

8.3. Justificación de los coeficientes dinámicos en automoción

En el diseño y optimización estructural de componentes críticos de un automóvil como la mangueta delantera, la evaluación bajo cargas puramente estáticas (1g) resulta insuficiente.

Durante la operación real del vehículo, las irregularidades del asfalto, las maniobras de emergencia y los impactos accidentales amplifican notablemente las fuerzas que inciden sobre los componentes.

Para poder evaluar estos fenómenos dinámicos complejos mediante simulaciones estáticas lineales en Autodesk Fusion, la ingeniería automotriz recurre a la aproximación por coeficientes dinámicos. Estos factores permiten sobredimensionar las fuerzas estáticas nominales para garantizar un margen de seguridad robusto frente a fallos por fluencia o fatiga.

A continuación, se justifican los criterios y coeficientes dinámicos adoptados en este proyecto basándose en los estándares metodológicos de la ingeniería de automoción:

8.3.1. Justificación del escenario de impacto vertical en el eje central del buje (3g)

La consideración de una aceleración de 3g (o fuerzas de magnitud equivalente a tres veces la masa estática por rueda $3 * m * g$), se fundamenta en los casos de carga críticos, tales como baches profundos de la calzada.

- **Explicación del fenómeno:** Cuando el vehículo en movimiento impacta contra una discontinuidad del terreno, la rueda experimenta una aceleración vertical considerable en el eje vertical. Dado que la suspensión no tiene la capacidad de disipar toda la energía del impacto en un intervalo de tiempo tan corto, la energía no disipada se transmite directamente a través del neumático y la rueda hacia el buje de la mangueta.
- **Validación técnica:** Este criterio de 3g está ampliamente respaldado en ensayos numéricos y experimentales. Eventos como el Bache Máximo imponen de forma estandarizada aceleraciones de 3g en el eje vertical para simular la condición de máxima sollicitación mecánica en el centro de la rueda.



Imagen 99 - Ejemplo de Socavón. Caso de Bache en Rodadura (MOTOR El País)

8.3.2. Justificación de los coeficientes de frenado y giro (1.5g)

Para los escenarios de frenado y viraje, se adopta un coeficiente multiplicativo de estabilidad dinámica de 1.5 sobre la masa de la rueda ($1.5 * m * g$). Este factor de 1.5 encuentra su justificación en los límites físicos de adherencia y en los efectos de transferencia de carga:

- **Frenado dinámico:** Un factor de 1.5 cubre holgadamente este evento dinámico en el que la carga vertical sobre el eje delantero aumenta debido al cabeceo del chasis.

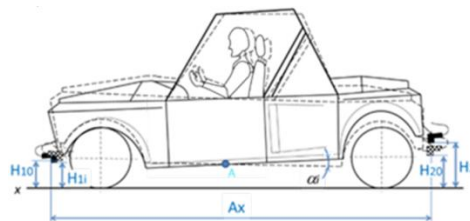


Imagen 100 - Esquema Cabeceo Vehículo / Car Brake Pitch (ResearchGate)

- **Fuerza lateral en curva:** Al realizar un viraje a alta velocidad, la fuerza centrífuga genera una transferencia lateral de masa hacia las ruedas exteriores al giro. La adopción de un coeficiente de 1.5g permite modelar la mangueta bajo la condición más desfavorable de apoyo lateral extremo, considerando holgadamente la transferencia lateral del vehículo.



Imagen 101 - Esquema Transferencia Lateral Vehículo / Car Steer Roll (MotoIQ)



Imagen 102 - Mazda MX-5 Miata Transferencia de Pesos en Giro

(Cumberland Motor Club + Edición Propia)

- **Validación técnica:** La relación matemática $1.5 * m * g$ para las fuerzas de frenado y fuerzas laterales se alinea directamente con las expresiones utilizadas en Ingeniería mecánica automotriz para el cálculo de solicitaciones sobre las orejetas de sujeción de la pinza de freno y los brazos de dirección, tal y como queda indexado en las condiciones de contorno validadas por *Almonti et al.* en análisis estáticos de manguetas tipo McPherson.

En conclusión, la integración de los coeficientes de 3g para impactos en el buje y de 1.5g para las maniobras operativas fundamentales de frenado y curva, constituye un marco de diseño seguro, estandarizado y científicamente validado. Esto garantiza que la mangueta resultante soporte las peores condiciones de la carretera a lo largo de su vida útil sin incurrir en deformaciones plásticas ni fallos catastróficos.

8.4. Desarrollo y cálculo numérico de los Casos de Carga:

Siendo m y g:

$$m = 396,6$$

$$g = 9,81m/s^2$$

8.4.1. Frenado máximo

Para modelar el peor escenario posible durante una deceleración extrema, se aplican coeficientes dinámicos sobre la carga estática de la rueda, derivada del reparto de cargas del vehículo. El cálculo de las fuerzas se desarrolla a continuación:

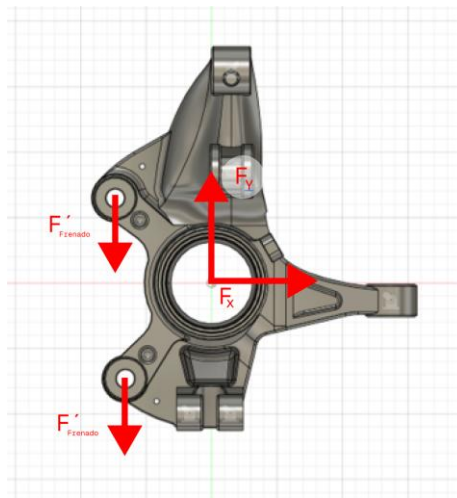


Imagen 103 - Diagrama de Cargas y Esfuerzos: Frenado Máximo (Elaboración Propia)

Condición	Nomenclatura	Expresión	Fuerza (N)
Fuerza Frenado	$F_{Frenado}$	$1.5 * m * g$	5836
Fuerza en Buje Eje-X	F_x	$3 * m * g$	11672
Fuerza en Buje Eje-Y	F_y	$1 * m * g$	3.890,6

Tabla 7 - Cargas y Esfuerzos: Frenado Máximo

- **Fuerza de Frenado:** Considera la transferencia longitudinal de masas durante el frenado.

$$F_{Frenado} = 1.5 * m * g$$

$$F_{Frenado} = 1.5 * 396,6 * g$$

$$F_{Frenado} = 5836N$$

Esta fuerza se descompone y se aplica directamente sobre las orejetas de sujeción de la pinza de freno. Como el caliper (Pinza

de freno) se sujeta en 2 anclajes, descomponemos la fuerza en 2 valores iguales:

$$F'_{Frenado} = \frac{F_{Frenado}}{2}$$

$$F'_{Frenado} = \frac{5836}{2}$$

$$F'_{Frenado} = 2918N$$

Para determinar la dirección y el sentido de esta fuerza, se parte de la hipótesis adoptada previamente en la que se desprecian los efectos dinámicos en marcha atrás, asumiendo un avance del vehículo hacia adelante. Bajo esta condición, y considerando que la mangueta de estudio es la delantera derecha, se establece que la rueda describe un giro en sentido antihorario (visto desde el exterior en función a nuestro eje de coordenadas).



Imagen 104 - Análisis Avance del Vehículo y Giro de las Ruedas (Adventure52 + Edición Propia)

En consecuencia, durante la fase de frenado, la acción de contacto de la pinza (caliper) sobre el disco genera una fuerza de reacción tangencial, que actúa en el eje vertical con sentido negativo (-Y).

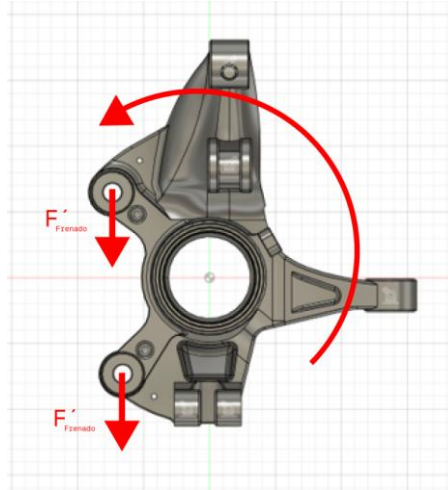


Imagen 105 - Dirección y Sentido de las Fuerzas de Frenado (Elaboración Propia)

- **Fuerza en Buje – Eje X:** Responde a la reacción longitudinal del chasis en el eje X del buje al frenar.

$$F_x = 3 * m * g$$

$$F_x = 3 * 396,6 * g$$

$$F_x = 11672N$$

- **Fuerza en Buje – Eje Y:** Carga Estática del Vehículo durante la marcha.

$$F_y = 1 * m * g$$

$$F_y = 396,6 * g$$

$$F_y = 3.890,6N$$

8.4.2. Giro máximo

Con el objetivo de describir el peor escenario posible durante el giro en una curva extrema, se definen las cargas que se aplican bajo la condición de giro máximo. El cálculo de las fuerzas se desarrolla de a continuación:

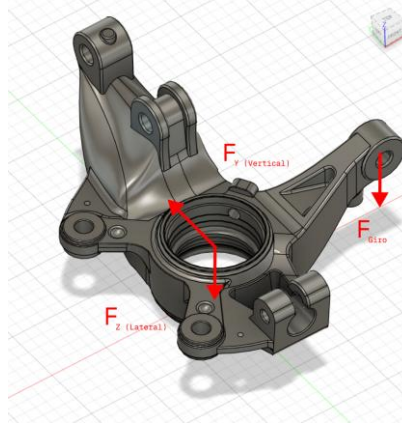


Imagen 106 - Diagrama de Cargas y Esfuerzos: Giro Máximo (Elaboración Propia)

Condición	Expresión	Fuerza (N)
Fuerza Lateral	$1.5 \cdot m \cdot g$	5836
Fuerza Giro	Nominal	100
Fuerza en Buje Eje-Y	$2 \cdot m \cdot g$	7.781,2

Tabla 8 - Cargas y Esfuerzos: Giro Máximo

- **Fuerza Lateral:**

Responde a la reacción perpendicular del chasis en el eje Z del buje al girar. Esta fuerza se orienta hacia el exterior del vehículo en la curva.

- **Fuerza de Giro:**

La fuerza de giro representa la acción transmitida por la dirección sobre el brazo de dirección de la mangueta para orientar la rueda. En la condición de Giro Máximo, se ha seleccionado un valor nominal de 100N aplicado de forma perpendicular al eje del brazo de dirección, siguiendo los criterios metodológicos validados en la bibliografía científica de diseño automotriz (Almonti et al., 2025).

- **Fuerza en Buje – Eje Y:**

Se desprecia el efecto del balanceo (Roll) de la carrocería, pero se aplica un factor de carga vertical de $2 * m * g$ (2 veces la carga estática del vehículo) en el giro máximo para contemplar la transferencia de masas hacia la rueda exterior, garantizando así la integridad estructural en la condición más desfavorable

$$F_y = 2 * m * g$$

$$F_y = 2 * 396,6 * g$$

$$F_y = 7781,2N$$

8.4.3. Bache máximo

El peor escenario posible de bache máximo en Ingeniería de automoción se define con un coeficiente que oscila entre 2g y 3g. En este análisis se empleará el mayor coeficiente para ampliar el margen de seguridad estructural de la mangueta. Las fuerzas laterales en este caso son despreciables.

Condición	Expresión	Fuerza (N)
Fuerza en Buje Eje-Y: Bache Máximo	$3 \cdot m \cdot g$	11672

Tabla 9 - Cargas y Esfuerzos: Bache Máximo

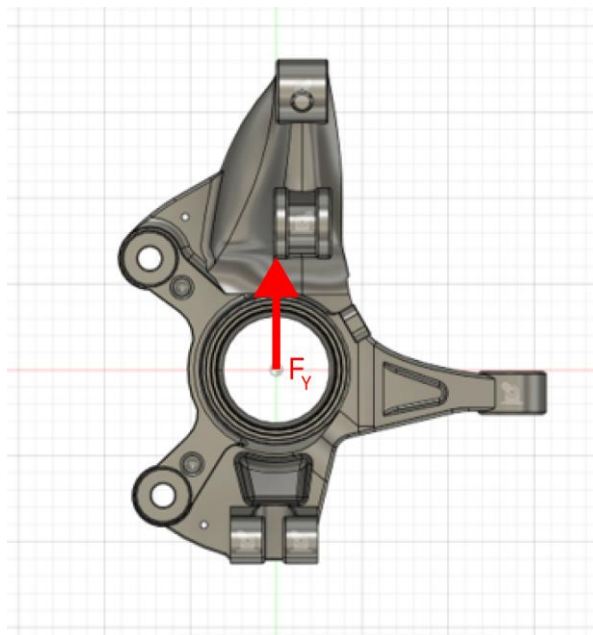


Imagen 107 - Diagrama de Cargas y Esfuerzos: Bache Máximo (Elaboración Propia)

$$F_{bache}^{max} = m \cdot g \cdot 3$$

$$F_{bache}^{max} = 396,6 \cdot 9,81 \cdot 3$$

$$F_{bache}^{max} = 11672N$$

8.4.4. Frenado máximo en curva

Una vez realizados los cálculos de las fuerzas involucradas en los 3 casos básicos (Frenado, Bache y Giro Máximo), los casos combinados suponen la combinación de las fuerzas en función del evento a analizar.

El caso por desarrollar (Frenado máximo en curva), puede descomponerse en Frenado Máximo y Giro Máximo, por lo que se adoptan las fuerzas involucradas en los casos individuales anteriores. En caso de superposición de Fuerzas del mismo tipo, siempre se escogerá la más perjudicial (la mayor fuerza).

Condición	Nomenclatura	Expresión	Fuerza (N)
Fuerza Frenado	$F_{Frenado}$	$1.5 \cdot m \cdot g$	5836
Fuerza en Buje Eje-X	F_x	$3 \cdot m \cdot g$	11672
Fuerza en Buje Eje-Y	F_y	$2 \cdot m \cdot g$	7.781,2
Fuerza Lateral	$1.5 \cdot m \cdot g$	5836	
Fuerza Giro	Nominal	100	

Tabla 10 - Cargas y Esfuerzos: Frenado Máximo en Giro Máximo

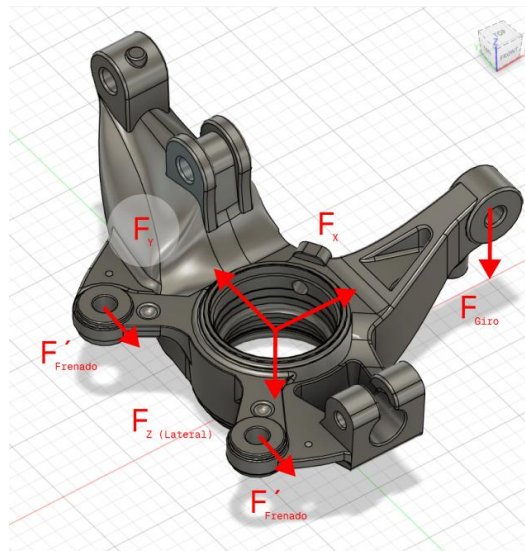


Imagen 108 - Diagrama de Cargas y Esfuerzos:

Frenado Máximo en Giro Máximo (Elaboración Propia)

8.4.5. Bache máximo en curva

Este caso combinado está compuesto de los siguientes casos individuales: Bache Máximo y Giro Máximo. Se adoptan las fuerzas involucradas en dichos casos individuales anteriores. En caso de superposición de Fuerzas del mismo tipo, siempre se escogerá la más perjudicial (la mayor fuerza).

Condición	Nomenclatura	Expresión	Fuerza (N)
Fuerza en Buje Eje-Y (Bache Máximo)	F_y	$3 \cdot m \cdot g$	11672
Fuerza Lateral (Buje Eje-Z)	$1.5 \cdot m \cdot g$	5836	
Fuerza Giro	Nominal	100	

Tabla 11 - Cargas y Esfuerzos: Bache Máximo en Giro Máximo

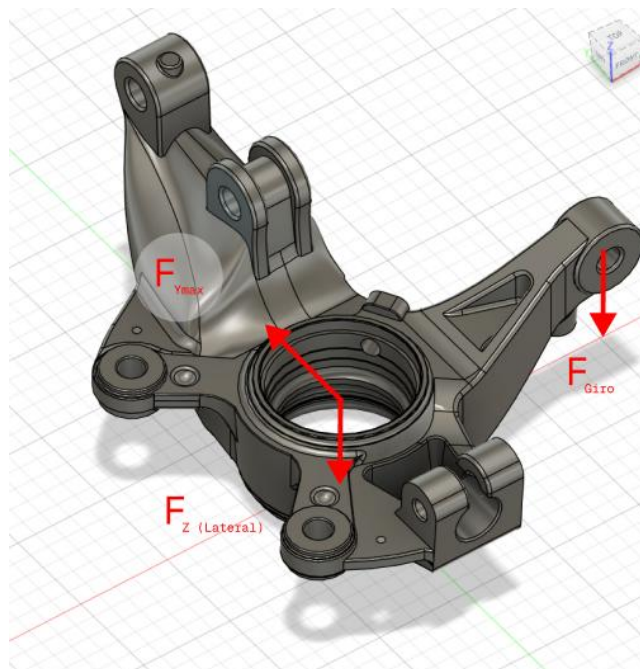


Imagen 109 - Diagrama de Cargas y Esfuerzos:

Bache Máximo en Giro Máximo (Elaboración Propia)

8.4.6. Caso combinado

Tras el desarrollo y cálculo numérico de las cargas y esfuerzos soportados por la mangueta en los diferentes casos dinámicos, el caso combinado de todos ellos comporta el evento más perjudicial para la mangueta.

Este evento comprende fuerzas provenientes del Frenado Máximo, Giro Máximo y Bache Máximo de manera simultánea.

Condición	Expresión	Fuerza (N)
Fuerza Frenado	$1.5 \cdot m \cdot g$	5836
Fuerza Giro	Nominal	100
Fuerza en Buje Eje-X	$3 \cdot m \cdot g$	11672
Fuerza en Buje Eje-Y	$3 \cdot m \cdot g$	11672
Fuerza en Buje Eje-Z (Lateral)	$1 \cdot m \cdot g$	3.890,6

Tabla 12 - Cargas y Esfuerzos: Resumen

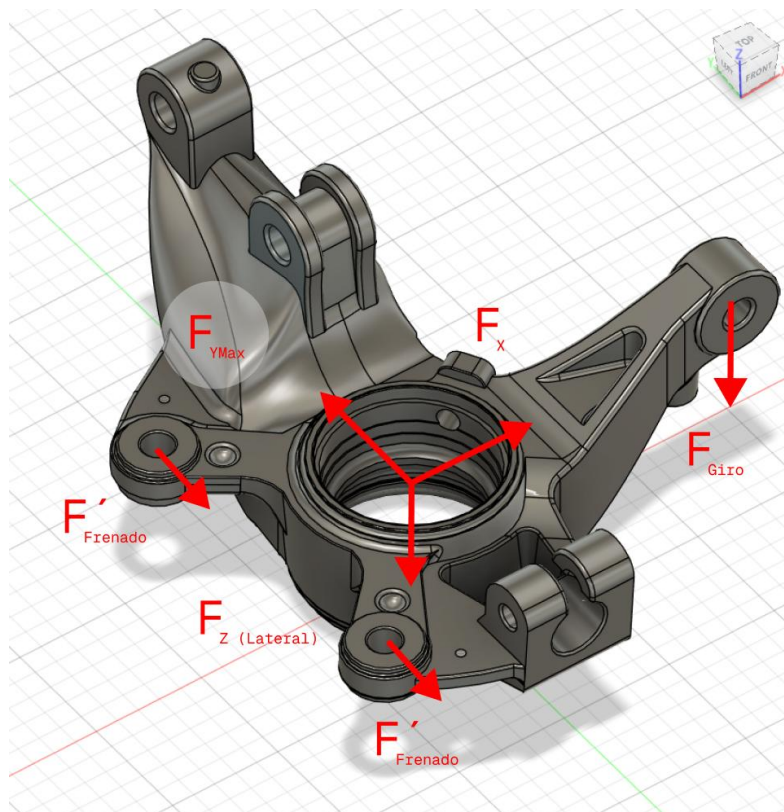


Imagen 110 - Diagrama de Cargas y Esfuerzos: Caso Combinado (Elaboración Propia)

Conocer el valor numérico, dirección y sentido de cada una de las cargas involucradas en el Caso Combinado es crucial para la posterior simulación en Autodesk Fusion. Este evento es el más perjudicial y el que más información proporciona para su consecuente optimización topológica y rediseño.

$$\text{Fuerza Resultante en el Buje} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

$$\text{Fuerza Resultante en el Buje} = \sqrt{11672^2 + 11672^2 + 3.890,6^2}$$

$$\text{Fuerza Resultante en el Buje} = \sqrt{136.235.584 + 136.235.584 + 15.136.768,36}$$

$$\text{Fuerza Resultante en el Buje} = \sqrt{287.607.936,36}$$

$$\text{Fuerza Resultante en el Buje} = 16.959N$$

8.5. Definición de restricciones de contorno

Para poder realizar las simulaciones, es imprescindible definir detalladamente las restricciones de movimiento de la mangueta. Estas condiciones, junto con los esfuerzos ya calculados, se utilizarán para evaluar tanto el diseño original como el propuesto en el rediseño.

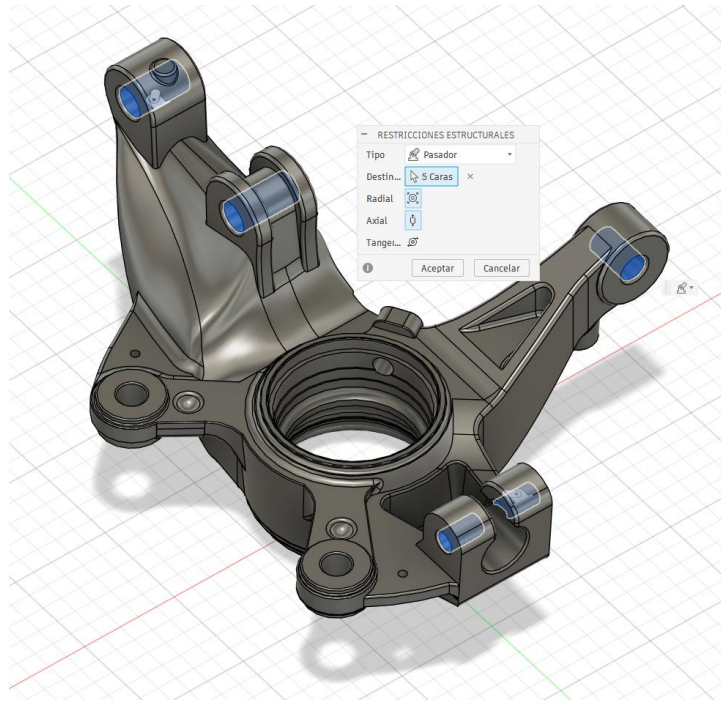


Imagen 111 - Definición de Restricciones Autodesk Fusion (Elaboración Propia)

La mangueta se conecta al chasis y al vehículo mediante el brazo de dirección, la rótula inferior y el brazo de dirección. Estas 3 zonas localizadas de la mangueta suponen 3 potenciales restricciones. En el brazo de suspensión, se establecen 2 anclajes, de igual manera en la rótula inferior.

Se han utilizado restricciones de tipo pasador en los nodos de articulación para permitir los grados de libertad rotacionales propios de las rótulas, evitando así el cálculo del modelo que produciría una restricción de tipo empotramiento (Fijo).

Al usar restricciones de tipo pasador (Pin Constraints), se permite que la mangueta flexione de forma natural, tal como lo haría en el Ford Focus.

Las restricciones han de ser consideradas para cada una de las hipótesis dinámicas establecidas durante las simulaciones de esfuerzos. La omisión de la especificación de estas restricciones asumirá la configuración descrita en este apartado.

9. Simulación FEA y Diagnóstico de la Mangueta Original

9.1. Preparación de la Simulación y Propiedades del Material Original

Una vez determinadas todas las hipótesis dinámicas, así como las cargas y esfuerzos que la mangueta debe soportar en cada una de ellas, se procede a preparar el entorno de simulación de cargas estáticas en Autodesk Fusion.

El proceso de Modelado CAD de la mangueta en Autodesk Fusion ha sido desarrollado en el “Entorno de Diseño”. Para poder realizar las simulaciones pertinentes mencionadas con anterioridad, el entorno debe ser susituido por “Entorno de Simulación”, el cual ofrece todas las herramientas necesarias para someter la mangueta a las diferentes hipótesis dinámicas determinadas: definición de restricciones tales como pasadores o componentes fijos, aplicación de cargas en puntos concretos de la pieza, aplicación de cargas remotas aplicadas al buje, obtención de resultados detallados en función de los valores de Von Mises, y el FOS (Factor de Seguridad), etc.

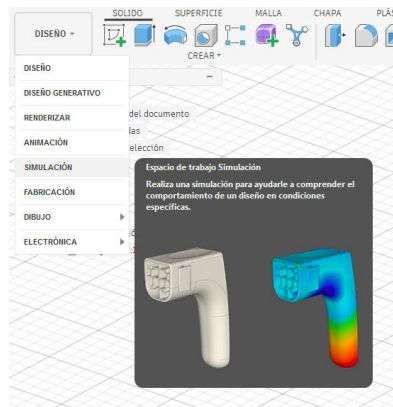


Imagen 112 - Entorno de Simulación en Autodesk Fusion (Elaboración Propia)

Existen distintos tipos de simulación ofertados por el motor de simulaciones de Autodesk Fusion, como se puede observar en la siguiente imagen. En el caso que refiere al estudio de este Trabajo de Fin de Grado, se realizarán todas las simulaciones bajo el tipo de estudio de “Tensión Estática”, que permite analizar en detalle las tensiones, solicitaciones y deformaciones del modelo en base a la definición de restricciones y aplicación de cargas.

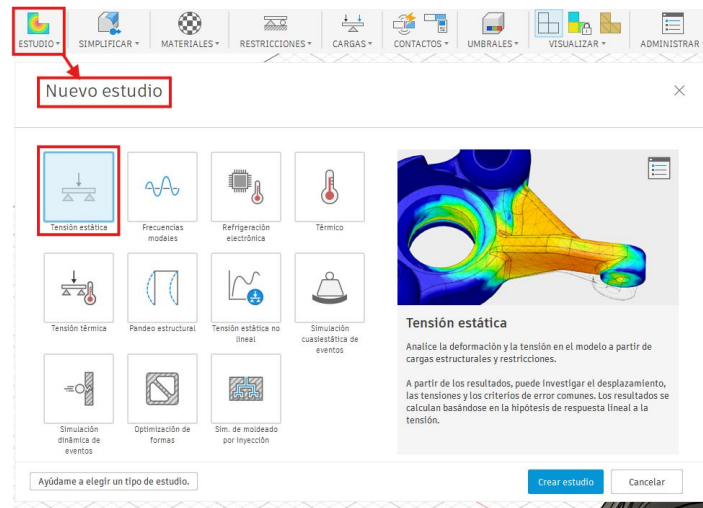


Imagen 113 - Definición Tipo de Estudio - Simulación en Autodesk Fusion

A su vez, previo a la definición de restricciones y cargas aplicadas para cada una de las hipótesis dinámicas, es indispensable definir el material de diseño, pues en función de las características del mismo, los resultados diferirán. En el caso de este estudio, se ha determinado el Acero.

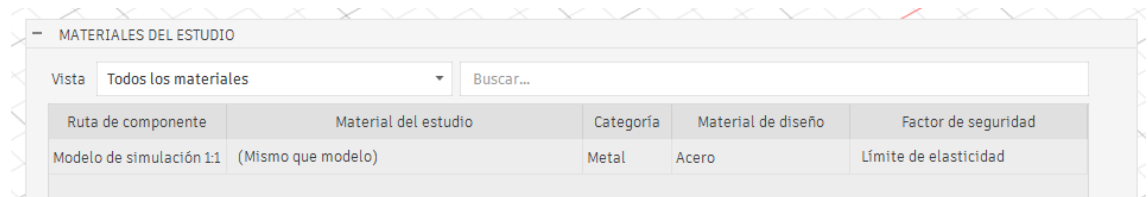


Imagen 114 - Definición Material de Diseño - Simulación en Autodesk Fusion (Elaboración Propia)

Véase a continuación las propiedades del Acero.



Imagen 115 - Propiedades del Acero (Material Mangueta Original) (Elaboración Propia)

Propiedad	Valor
Densidad	$7850 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$
Módulo de Young	210 GPa
Coeficiente de Poisson	0.30
Límite de Elasticidad	207 MPa
Resistencia Máxima a Tracción	345 MPa
Conductividad Térmica	0.056 W/mmK
Coeficiente de dilatación térmica	$1200 \times 10^{-5} / \text{K}$
Calor específico	480 J/KgK

Imagen 116 - Propiedades del Acero (Material Mangueta Original)

Cabe destacar que, el material final de la mangueta es el Acero 42CrMo4, el cual presenta un módulo de Young mayor. El acero escogido para las simulaciones, por tanto, funciona como rango de seguridad amplificado.

9.2. Expectativas de resultados del modelo original

Previo a la obtención de resultados de cada una de las simulaciones, teniendo en cuenta que se trata de una mangueta oficial de Ford, empleada en un vehículo comercial con capacidad de circular, se espera de manera analítica un Factor de Seguridad considerablemente elevado, en especial teniendo en cuenta el acusado sobredimensionamiento de la pieza. En automoción, un Factor de Seguridad mínimo de 2 es aceptable.

En cada una de las hipótesis dinámicas, previamente definidas, se han establecido los vectores, así como sus valores, de los esfuerzos y solicitaciones sobre la mangueta. De tal manera, dicha información no será repetida en este apartado, pues el objeto del mismo consiste en presentar los resultados tras las simulaciones. En caso de requerir estos datos, se deberá consultar la modelización matemática de la Memoria de este Trabajo de Fin de Grado, siendo esta la única fuente que define estos eventos dinámicos numéricamente.

Cabe destacar, finalmente, que los resultados de las siguientes simulaciones se muestran a modo de mapa de tensiones y factor de seguridad, y emplean un código de color que determina la escala del valor en función de su tono, siendo aquellos tonos fríos cercanos al Azul los más seguros, o zonas menos solicitadas, y aquellos tonos cálidos cercanos al Rojo, los más solicitados y sometidos a mayores esfuerzos estructurales.

9.2.1 Análisis de resultados Simulación Frenado Máximo

Autodesk Fusion notifica, directamente, la simulación como Suficientemente Fuerte. Así pues, no existen picos de tensión irreales en el caso del Frenado Máximo.

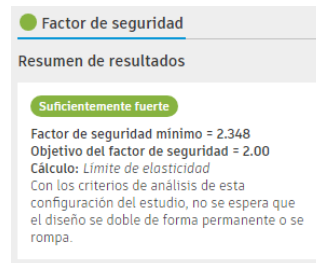


Imagen 117 - Resumen de Resultados – Frenado Máximo

Véase a continuación el Mapa de Tensiones y Factor de Seguridad.

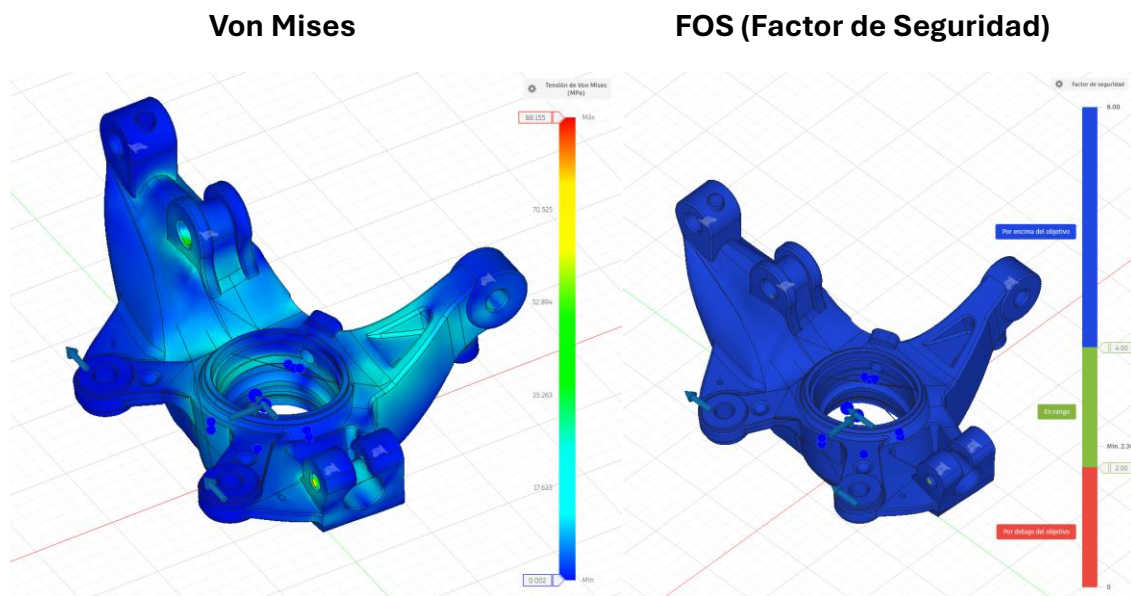


Imagen 118 - Von Mises – Frenado Máximo (Propia) Imagen 119 - FOS – Frenado Máximo (Propia)

Resultado	Valor Nominal Mínimo ≈	Valor Nominal Máximo ≈
Von Mises (MPa)	0.002	88.155
FOS (Factor de Seguridad)	2.348	8

Tabla X: Resumen de Resultados – Frenado Máximo

- **Análisis de resultados:** Se observa como las solicitaciones en el caso de frenado máximo no son suficientemente relevantes, incluso nulas en secciones que ya han sido identificadas como sobredimensionadas. Véase, por ejemplo, el cuerpo del brazo de suspensión. La pieza comprende un valor prácticamente total de 8 como Factor de Seguridad, exceptuando ciertos puntos de la pieza que podrían incluso considerarse como singularidades a descartar, a pesar de no hacerlo pues todavía entra en el rango aceptable de mínimo 2 de FOS en automoción.

9.2.2 Análisis de resultados Simulación Giro Máximo

Autodesk Fusion notifica, directamente, la simulación como Suficientemente Fuerte. Así pues, no existen picos de tensión irreales en el caso del Giro Máximo.

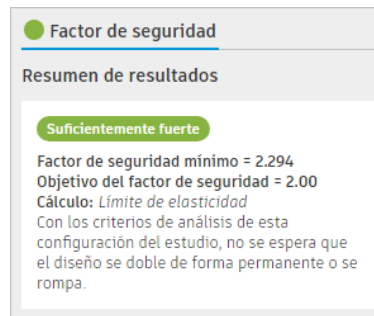


Imagen 120 - Resumen de Resultados – Giro Máximo

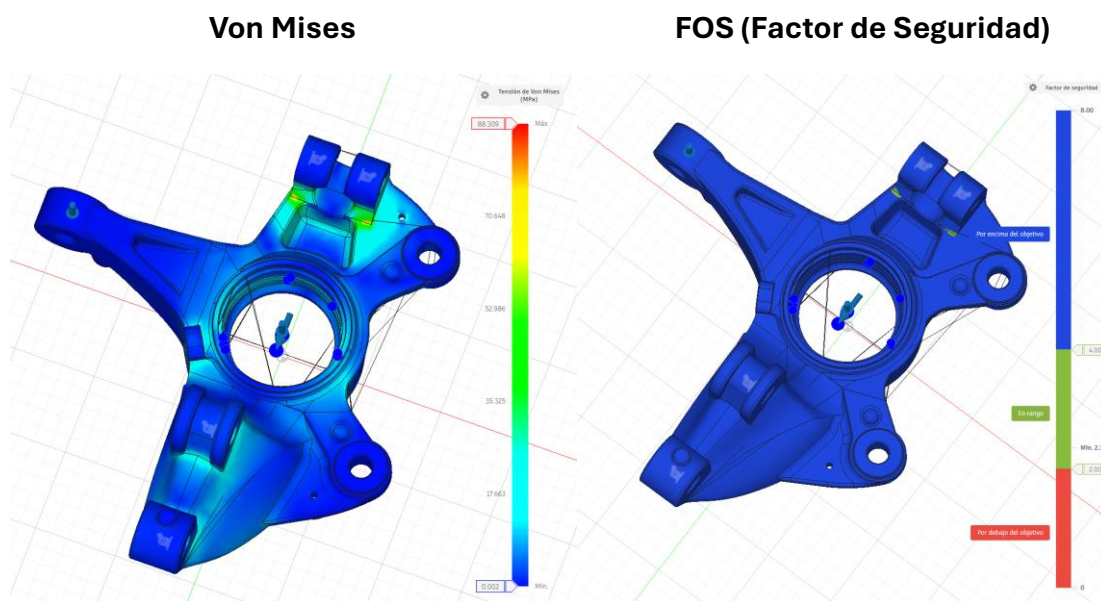


Imagen 121 - Von Mises – Giro Máximo (Propia)

Imagen 122 - FOS – Giro Máximo (Propia)

Resultado	Valor Nominal Mínimo ≈	Valor Nominal Máximo ≈
Von Mises (MPa)	0.002	88.309
FOS (Factor de Seguridad)	2.344	8

Tabla 13 - Resumen de Resultados – Giro Máximo

- **Análisis de resultados:** Se observa como las solicitaciones en el caso de giro máximo son ligeramente superiores al evento dinámico del frenado máximo, incluso así, no son suficientemente relevantes como para hacer peligrar la integridad física de la pieza. De nuevo, se identifican secciones bajo sollicitación nula o prácticamente nula que ya han sido identificadas como sobredimensionadas. Véase, por ejemplo, de nuevo, el cuerpo del brazo de suspensión. La pieza comprende un valor prácticamente total de 8 como Factor de Seguridad, exceptuando ciertos puntos de la pieza como el brazo de la rótula inferior. Esta vez, no se ha considerado estos puntos como singularidades del software a descartar, sino como información útil para el rediseño.

9.2.3 Análisis de resultados Simulación Bache Máximo

Autodesk Fusion notifica, directamente, la simulación como Suficientemente Fuerte. Así pues, no existen picos de tensión irreales en el caso del Giro Máximo.

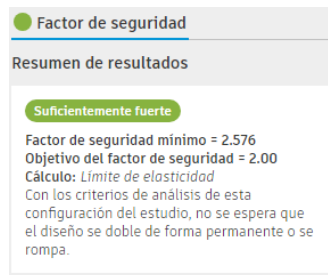


Imagen 123 - Resumen de Resultados – Bache Máximo

Von Mises

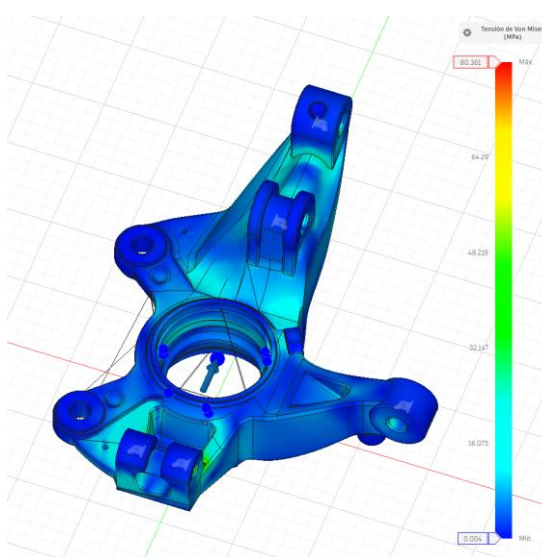


Imagen 124 - Von Mises – Bache Máximo (Propia)

FOS (Factor de Seguridad)

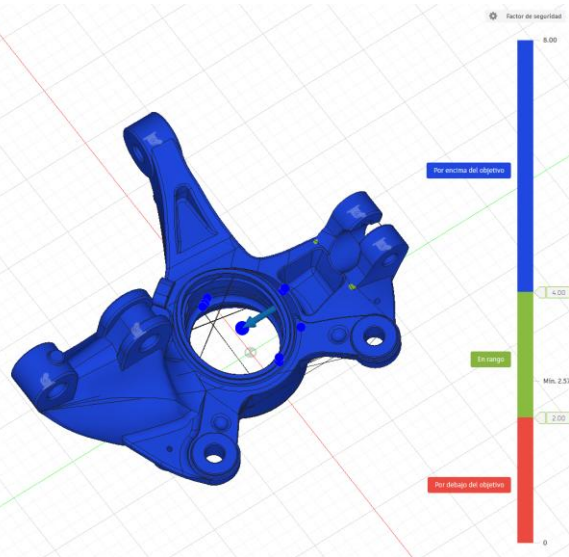


Imagen 125 - FOS – Bache Máximo (Propia)

Resultado	Valor Nominal Mínimo ≈	Valor Nominal Máximo ≈
Von Mises (MPa)	0.004	80.361
FOS (Factor de Seguridad)	2.576	8

Tabla 14 - Resumen de Resultados – Bache Máximo

- **Análisis de resultados:** Se observa solicitaciones similares al caso de giro máximo, pues son ligeramente superiores al evento dinámico del frenado máximo, pero no alcanzan la relevancia suficiente relevante como para hacer peligrar la integridad física de la pieza. De nuevo, se identifican las mismas que en eventos anteriores secciones bajo solicitación nula o prácticamente nula. Véase, por ejemplo, el cuerpo del brazo de suspensión. La pieza comprende un valor prácticamente total de 8 como Factor de Seguridad, exceptuando ciertos puntos de la pieza como el brazo de la rótula inferior. Esta vez, no se ha considerado estos puntos como singularidades del software a descartar, sino como información útil para el rediseño.

9.2.4 Análisis de resultados Simulación Frenado en Curva

Von Mises

FOS (Factor de Seguridad)

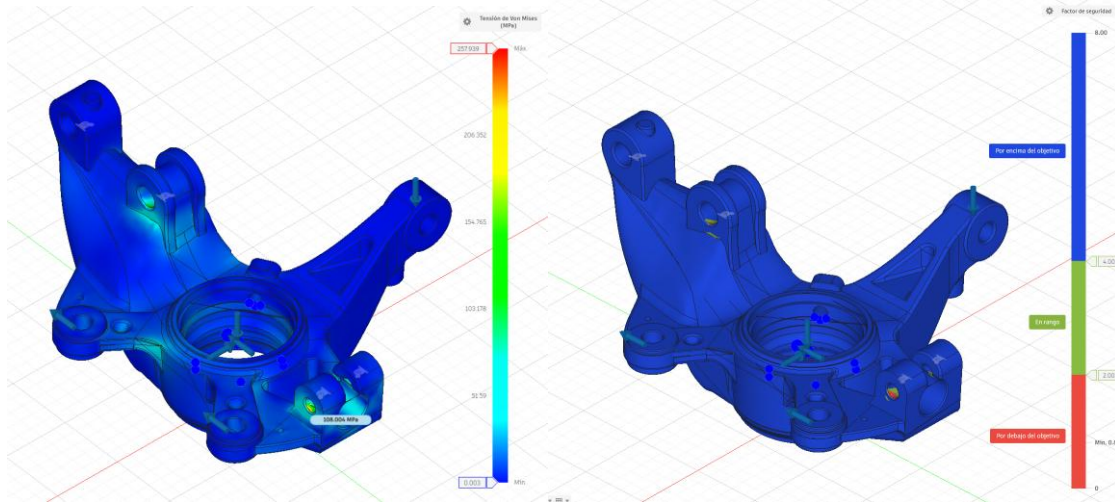


Imagen 126 - Von Mises – Frenado En Curva(Propia) Imagen 127 - FOS – Frenado En Curva (Propia)

Resultado	Valor Nominal Mínimo ≈	Valor Nominal Máximo ≈
Von Mises (MPa)	0.003	108.004
FOS (Factor de Seguridad)	2.015	8

Tabla 15 - Resumen de Resultados – Frenado En Curva

- Análisis de resultados:** Se observa solicitaciones ligeramente superiores a los eventos dinámicos anteriores, aumentando la tensión de Von Mises y disminuyendo considerablemente el Factor de Seguridad. De igual manera, se encuentra entre valores estables y aceptables. Se observa como las solicitaciones se aplican en puntos más localizados de la mangueta, tales como los anclajes de suspensión, los anclajes de la rótula inferior, y las nervaduras de los brazos de la pinza de freno.
- Singularidades del Frenado en Curva:** Se observan ciertas singularidades en el evento de frenado en curva. Estas

singularidades han sido descartadas, véase la justificación en el subapartado 5 de este Anejo E de la Memoria.

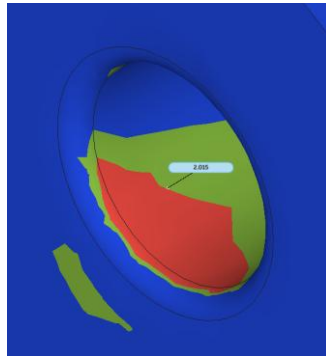


Imagen 128 - Singularidad Pico de Tensión – Frenado En Curva (Elaboración Propia)

9.2.5 Análisis de resultados Simulación Bache en Curva

Von Mises

FOS (Factor de Seguridad)

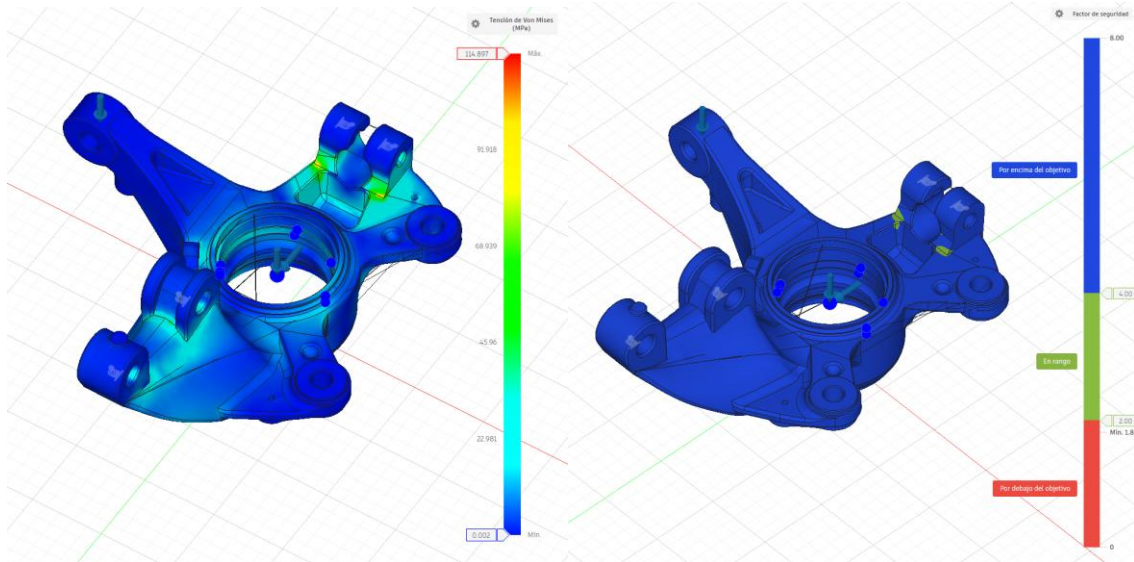


Imagen 129 - Von Mises – Bache En Curva (Propia) Imagen 130 - FOS – Bache En Curva(Propia)

Resultado	Valor Nominal Mínimo ≈	Valor Nominal Máximo ≈
Von Mises (MPa)	0.002	114.897
FOS (Factor de Seguridad)	2.07	8

Tabla 16 - Resumen de Resultados – Bache En Curva

- Análisis de resultados:** Se observa solicitaciones similares al evento dinámico de frenado en curva, esta vez menos localizados en puntos específicos y más distribuidos por la mangueta. De nuevo, se visualiza de manera clara el acusado sobredimensionamiento en gran parte de la mangueta. Cabe decir que, en comparación al evento dinámico de frenado en curva, la tensión de von mises ha aumentado y el factor de seguridad ha disminuido ligeramente, por lo que se puede concretar que entre el frenado en curva y el bache en curva, el segundo es más perjudicial en cuestión de esfuerzos estructurales para la mangueta.

- **Singularidades del Bache en Curva:** Se observan ciertas singularidades en el evento de bache en curva. Estas singularidades han sido descartadas, véase la justificación en el subapartado 5 de este Anejo E de la Memoria.

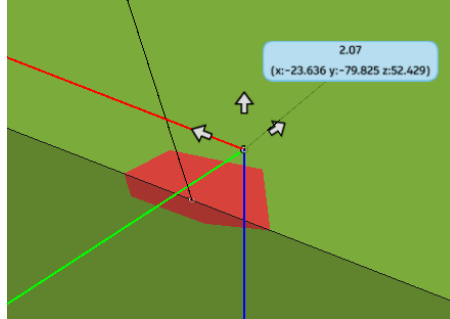
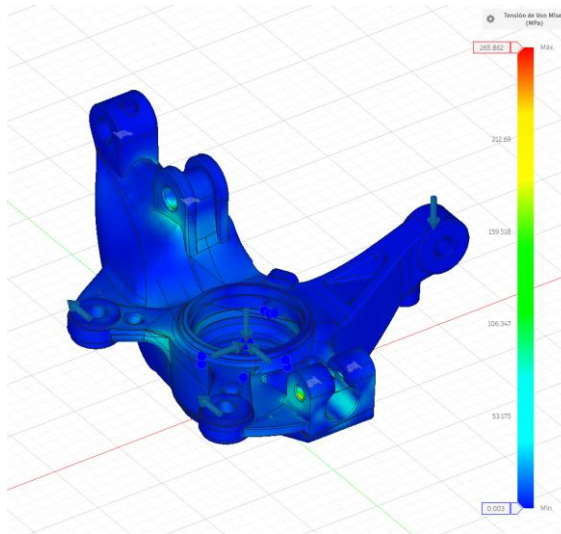


Imagen 131 - Singularidad Pico de Tensión – Bache En Curva (Elaboración Propia)

9.2.6 Análisis de resultados Simulación Caso Combinado

Von Mises



FOS (Factor de Seguridad)

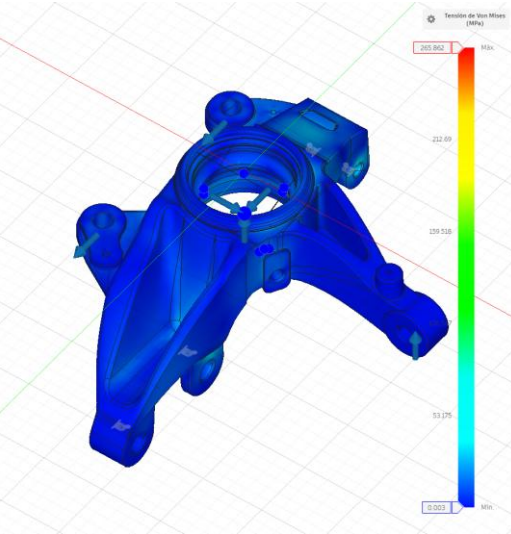


Imagen 132 - Von Mises – Caso Combinado (Propia) Imagen 133 - FOS – Caso Combinado(Propia)

Desplazamiento (mm)

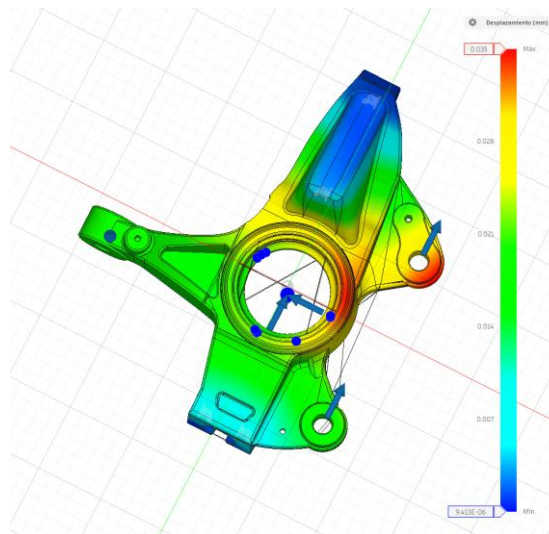


Imagen 134 - Desplazamiento de la Mangueta – Caso Combinado (Elaboración Propia)

Resultado	Valor Nominal Mínimo ≈	Valor Nominal Máximo ≈
Von Mises (Mpa)	0.003	265.862
FOS (Factor de Seguridad)	2.035	8
Desplazamiento (mm)	0	0.035

Tabla 17 - Resumen de Resultados – Caso Combinado

9.3. Singularidades Descartadas de la Simulación

Se observan valores de Factor de Seguridad por debajo de la unidad o del rango permitido en zonas muy localizadas de los anclajes. Sin embargo, estos resultados se identifican como singularidades numéricas derivadas del proceso de simulación de la geometría escaneada (aristas vivas) y de la aplicación simplificada de las cargas en los nodos. Dado que el 98% del volumen de la mangueta presenta un FOS superior a 3, se confirma la validez estructural del componente original.

En manguetas McPherson, los puntos críticos suelen ser precisamente los brazos de soporte de la pinza.

La herramienta Inspeccionar > Punto de Sonda nos permite identificar el valor exacto de la tensión de Von Mises en puntos específicos de la mangueta.

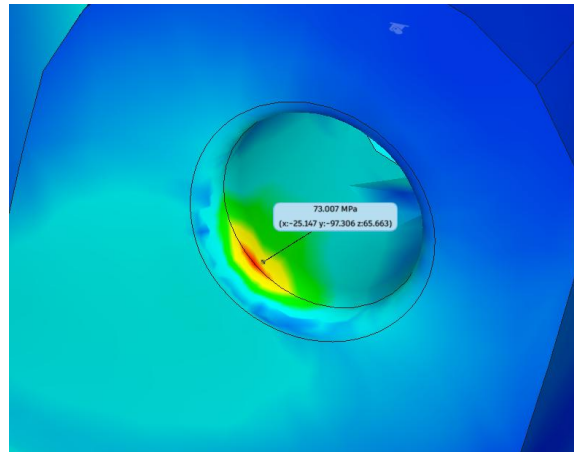


Imagen 136 - Singularidad Inspeccionada mediante Punto de Sonda (Elaboración Propia)

9.4. Diagnóstico crítico del diseño

- **Diagnóstico:** La pieza no sufre de manera crítica bajo solicitaciones extremas. Un desplazamiento máximo de 35 micras en el escenario más pesimista (frenado + giro + bache) significa que la mangueta es rígida para estas cargas. El 95% de la pieza se encuentra en azul oscuro en el software de simulación. Esto es, por debajo de 50MPa. La mayor parte del material no está trabajando bajo solicitaciones considerables o incluso no está trabajando en absoluto. Esto otorga un margen de gran amplitud para la optimización topológica.
- **Comportamiento:** El mayor desplazamiento ocurre en los anclajes de la pinza de freno y la parte inferior, pero la magnitud es despreciable. El resto de la geometría de la pinza no sufre desplazamientos significantes.
- **Singularidades:** Existen singularidad matemáticas visibles en la simulación. Estos efectos suelen ser despreciables. Al aplicar una fuerza en una arista, el software puede incrementar la tensión artificialmente. En la realidad, la carga se reparte y la tensión real es mucho menor.
- **Conclusión:**

El análisis de las simulaciones de esfuerzos del modelo original bajo el caso de carga más desfavorable (combinación de frenado, giro y bache) revela que la mangueta actual se encuentra severamente sobredimensionada. Los resultados muestran que el 95% del volumen del material trabaja a tensiones muy inferiores al límite elástico ($< 50\text{MPa}$), con coeficientes de seguridad superiores a 8. Asimismo, la rigidez estructural es excesiva, presentando deformaciones máximas irrelevantes (0.035mm). Los picos de tensión localizados se identifican como singularidades numéricas propias del software, y no como fallos estructurales reales.

Por tanto, se concluye que existe un amplísimo margen para la optimización geométrica. La pieza actual posee una masa innecesaria que penaliza la dinámica del vehículo, lo que justifica plenamente la necesidad de un rediseño orientado al aligeramiento.

10. Proceso de Rediseño de la Mangueta

10.1. Definición del espacio de diseño y restricciones geométricas

Definir de manera concisa las limitaciones, restricciones, y vías de diseño disponibles para el rediseño de la mangueta del Ford Focus Active tiene un papel indispensable. Las restricciones y condiciones geométricas se enumeran a continuación:

- El Alojamiento del Rodamiento del Buje ha de mantenerse intacto, y debe seguir alojando el mismo rodamiento insertado a presión para garantizar la compatibilidad y coherencia con otros elementos del conjunto.
- Las dimensiones, posicionamiento, profundidad y tolerancias de los anclajes de Suspensión, Sensor ABS, Dirección, Pinzas de Freno, Chapa Protectora de Disco y Rótula Inferior permanecerán invariables.
- Por razones económicas y operativas, mantener el acero como material de diseño para la mangueta. Esta decisión está, además, influenciada críticamente por la perspectiva de diseño acerca del valor emocional que transmite el uso de materiales en los productos. En el caso que concierne al rediseño de la mangueta, se encuentra por un lado el aluminio, que evoca ligereza y modernismo, y por otro lado el acero, que transmite rigidez, solidez y un acabado industrial más tradicional. Pese a que el aluminio se presenta como una opción premium y potencialmente una clara línea de futuro para la industria del automóvil, el acero se sitúa como opción viable para el rediseño de la mangueta del Focus Active, pues transmite satisfactoriamente los valores de la marca, específicamente en un acabado del Ford Focus con estética Crossover (que se inclina al segmento C-SUV sin llegar a serlo, con un enfoque emocional más aventurero) como es el Ford Focus Active, sujeto a estudio en este proyecto. Por otro lado, el enfoque que proporciona el aluminio se orienta hacia la deportividad y el alto rendimiento, que podría considerarse en otros acabados del modelo tales como el Ford Focus ST e incluso el Ford Focus RS.
- Respetar la integridad física y estructural de la mangueta con un FOS (Factor de Seguridad) mínimo de 2.
- Aplicar estrategias de aligeramiento y reducción de masa no suspendida identificadas en el benchmarking y tras las simulaciones de esfuerzo llevadas a cabo.

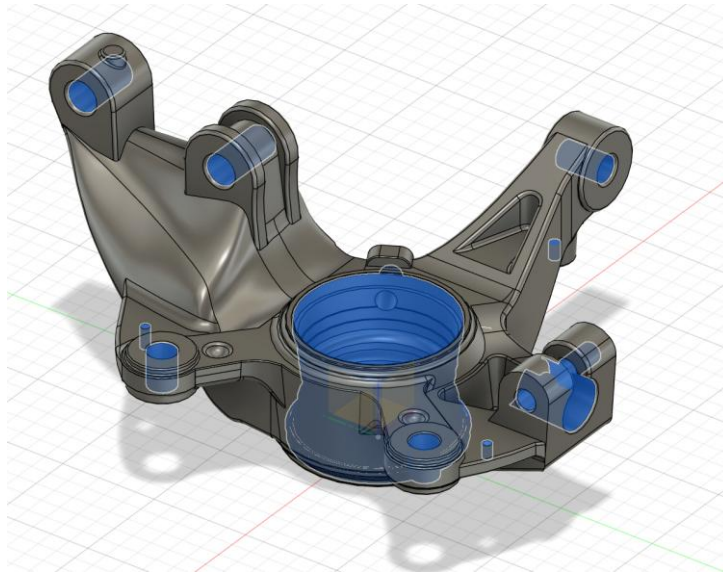


Imagen 137 - Restricciones Geométricas del Rediseño (Elaboración Propia)

10.2. Bocetado Conceptual de Propuestas de Diseño

Una vez establecidas todas las restricciones pertinentes al rediseño, y definido las vías de diseño viables y lógicas para el rediseño de la mangueta del Ford Focus, se realiza una exploración conceptual de distintas propuestas de diseño. Cabe destacar que, debido a las restricciones establecidas, la silueta general de la pieza no se verá estructuralmente modificada. Si lo harán las decisiones morfológicas concretas de cada uno de los elementos de la propia mangueta, pero la posición de los anclajes en sí ya define gran parte de la pieza (su tamaño, distribución, proporción, etc...), por lo que no se entiende este rediseño como un rediseño completo, sino como una evolución lógica y optimizada de la mangueta de Ford para la plataforma del Focus.

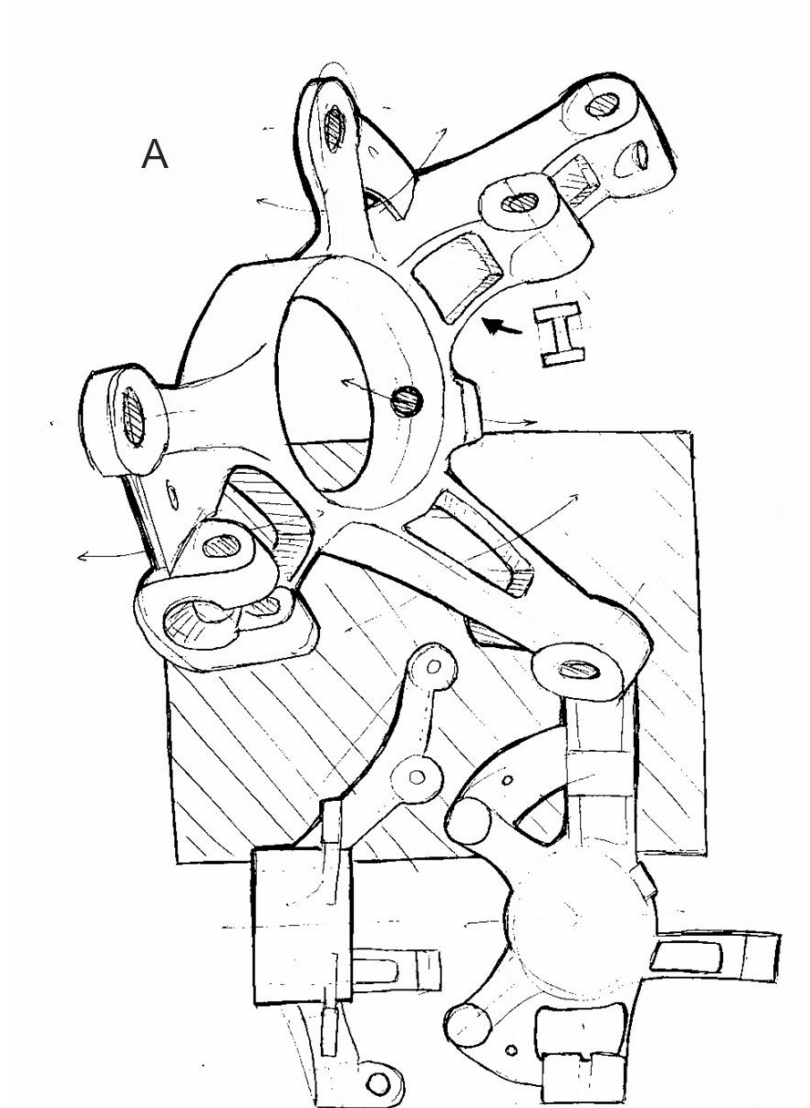


Imagen 138 - Concepto Rediseño A (Elaboración Propia)



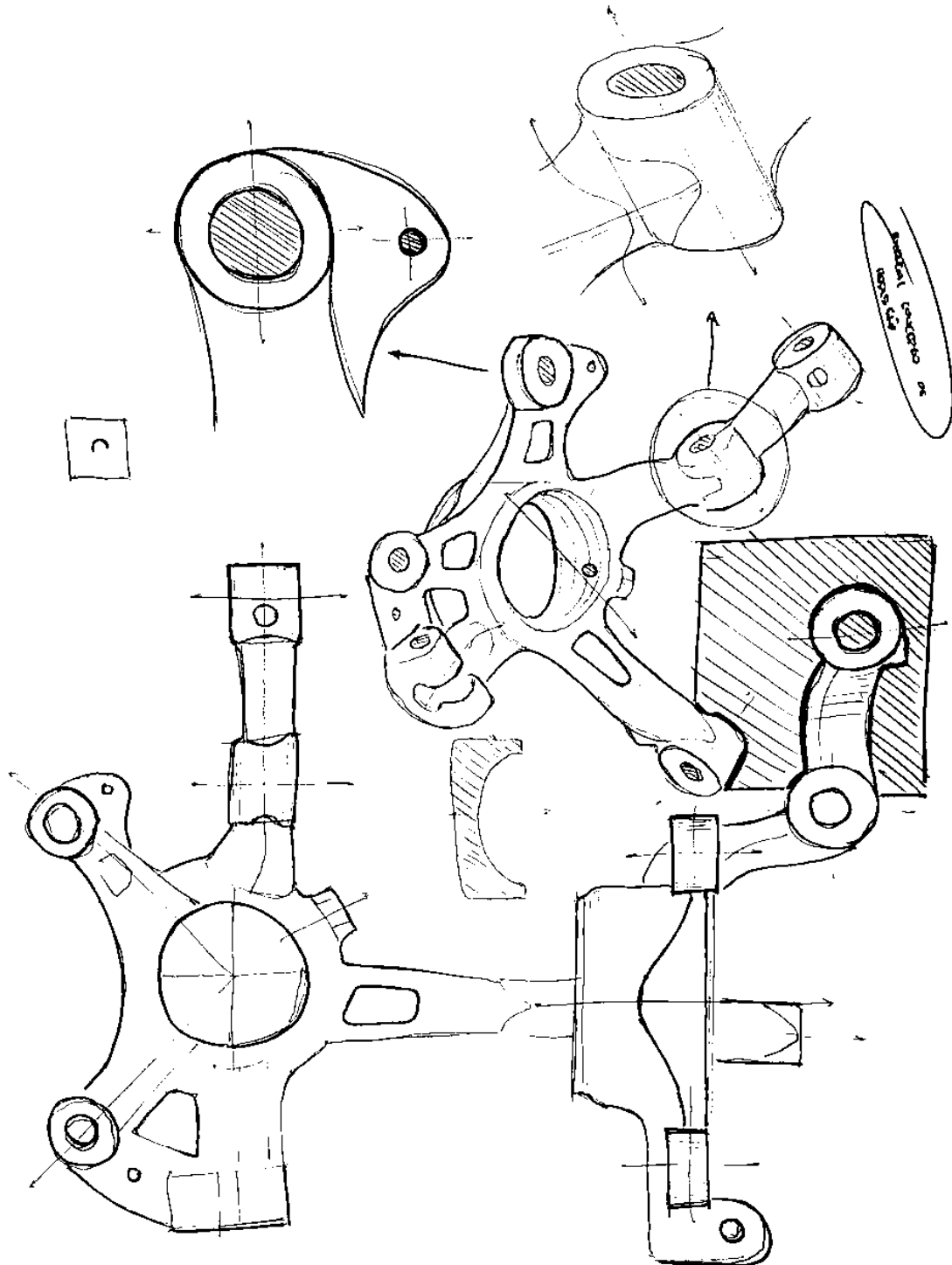


Imagen 140 - Concepto Rediseño C (Elaboración Propia)

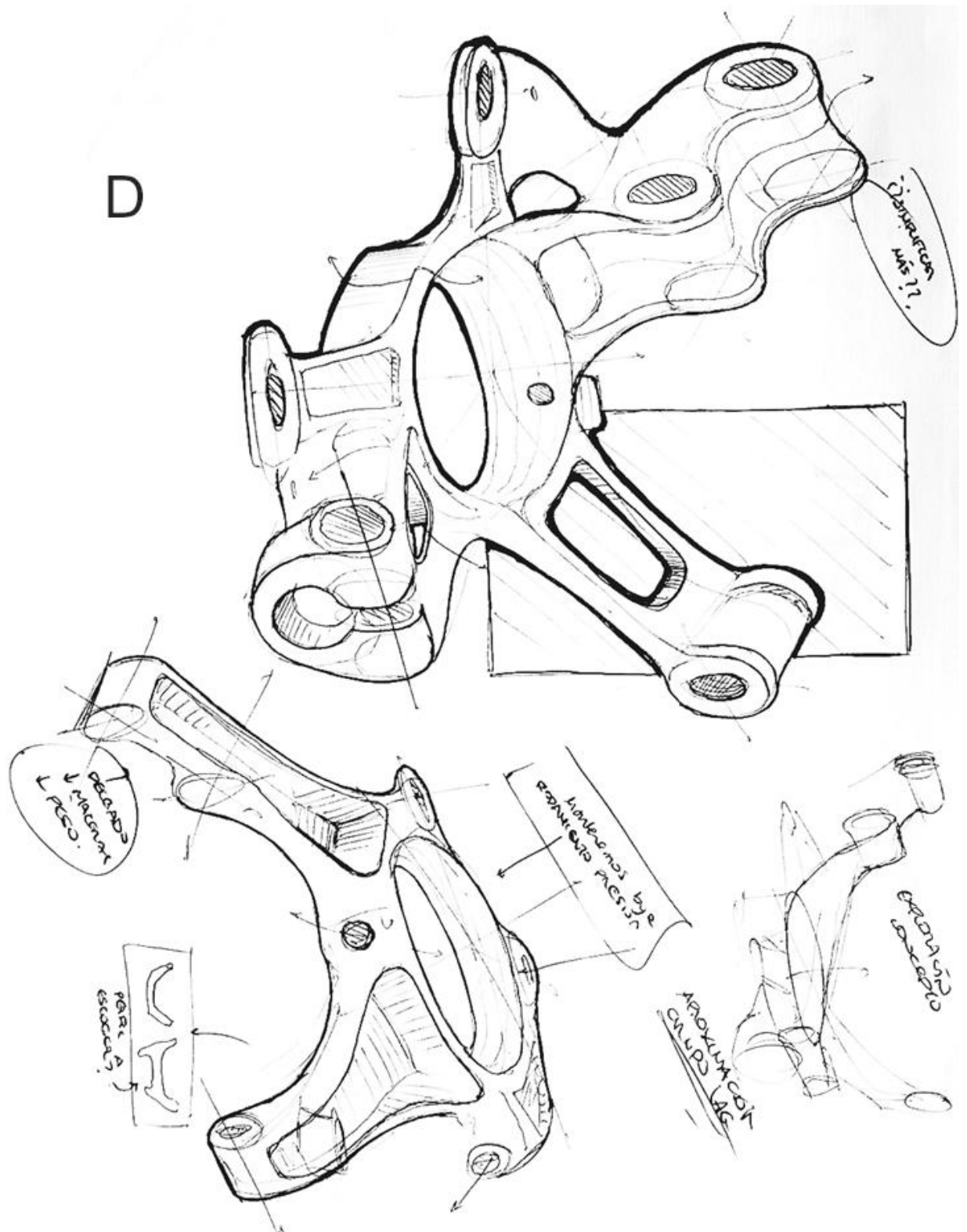


Imagen 141 - Concepto Rediseño D (Elaboración Propia)

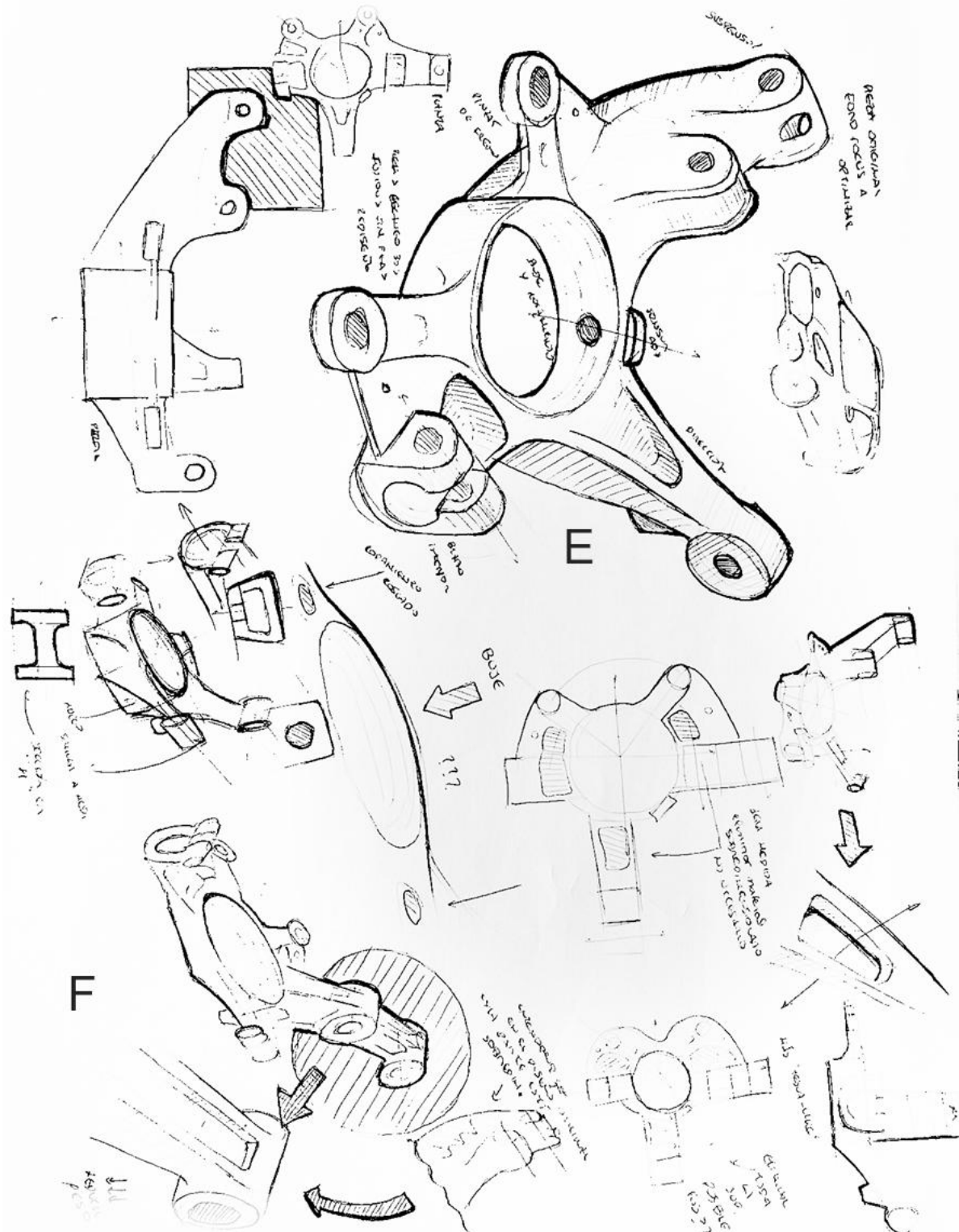


Imagen 142 - Concepto Rediseño E y F (Elaboración Propia)



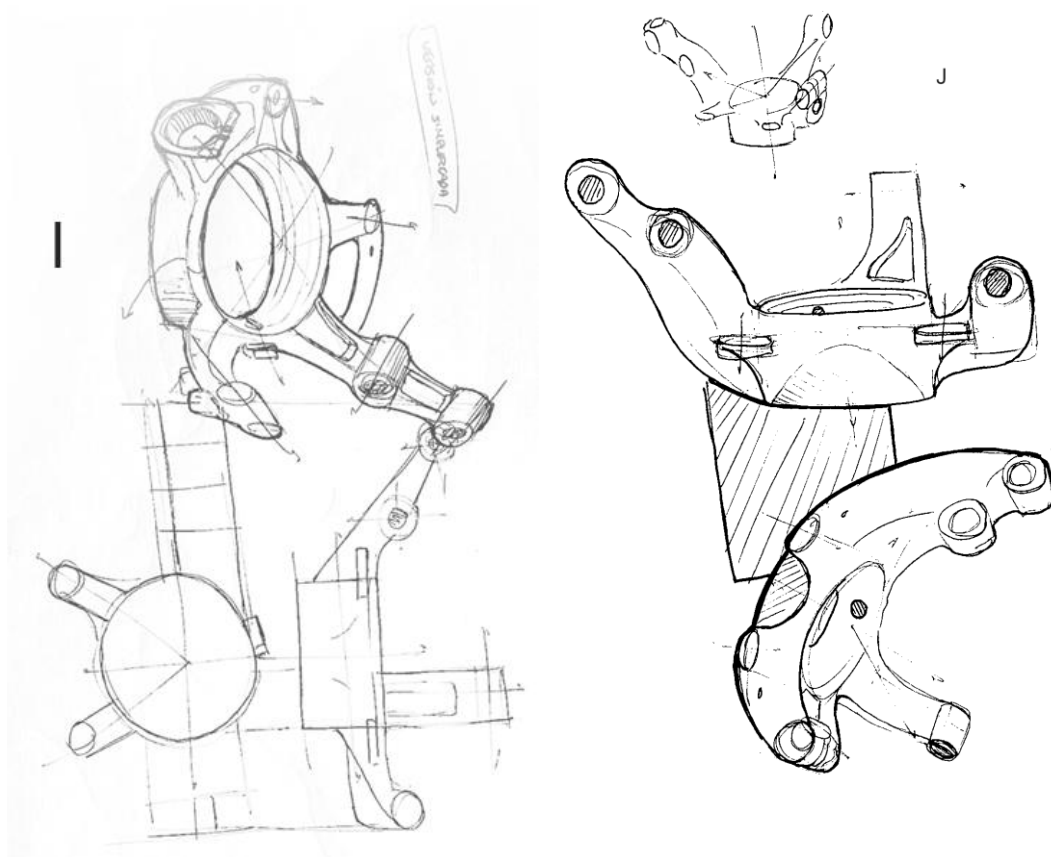


Imagen 145 - Concepto Rediseño I y J (Elaboración Propia)

10.3. Selección de Potenciales Conceptos de Rediseño

El proceso de generación de ideas presentado en el anterior apartado propone una amplia gama de posibilidades y conceptos distintos para el rediseño de la mangueta de dirección del Ford Focus. Cada una de ellas, presenta elementos de diseño característicos, por lo que es fundamental definir una serie de criterios bajo los cuales poder juzgar y filtrar los conceptos de rediseño para eliminar todas aquellas propuestas inviables. Cabe destacar que, la suma de los pesos de cada uno de los criterios debe dar un total del 100%.

Los criterios definidos son los siguientes:

Criterio	Peso
Cumplimiento de Requisitos y Restricciones de Diseño	40%
Rigidez y FOS Aproximado	20%
Viabilidad de Fabricación	15%
Innovación	10%
Potencial Disminución de Peso	10%
Estética	5%

Tabla 18 - Criterios y Pesos de Selección

Con el objetivo de cuantificar y valorar cada uno de los criterios, se ha establecido una escala del 1 al 5, donde el 5 supone la puntuación y adecuación máxima al criterio que hace referencia. Una vez ponderada la tabla en su totalidad, se escogerán como propuestas de rediseño finales aquellas 2 manguetas con mayor puntuación.

	Cumplimiento de Requisitos de Diseño	Rigidez y FOS Aproximado	Viabilidad de Fabricación	Innovación	Potencial Disminución de Peso	Estética	
A	5	4	4	3	4	4	4
B	5	4	4	2	3	3	3,5
C	5	4	4	4	4	5	4,3
D	4	4	4	2	2	3	3,1
E	5	5	4	1	1	2	3
F	5	4	4	2	3	1	3,1
G	5	5	4	5	4	5	4,6
H	4	3	4	2	3	1	2,8
I	4	3	2	3	4	2	3
J	4	4	4	2	3	3	3,3

Tabla 19 - Criterio de Selección de Conceptos

10.3.1 Encuestas a Usuarios

- **Introducción:**

En la fase de rediseño se generaron distintos conceptos de mangueta optimizada. Con el objetivo de incorporar la opinión del usuario final en el proceso de diseño industrial y selección, se realizó una encuesta de evaluación comparativa entre tres propuestas de diseño final.

Esta encuesta permite validar no solo los criterios técnicos (reducción de masa, factor de seguridad y optimización topológica), sino también aspectos perceptuales como estética, robustez percibida, modernidad y preferencia general, aspectos fundamentales en Diseño Industrial.

- **Metodología:**

La encuesta se realizó mediante Google Forms. El perfil de los participantes es el siguiente:

Edad: 20-55 años (media: 33 años)

Conductores habituales: 100 %

Nivel de interés en diseño y automoción: Alto / Muy alto (74 %)

Duración media: 7 minutos

Se mostraron imágenes de los tres diseños (Diseño Original, Diseño C y Diseño G), junto con una breve descripción técnica accesible para cada uno.

- **Cuestionario:**

- Bloque 1: Presentación de los conceptos

Se mostraron los siguientes tres diseños de mangueta rediseñada:

- Diseño Original: 6.200g.

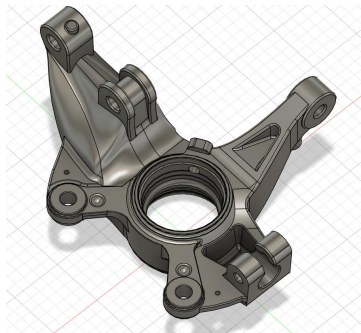


Imagen 146 - Diseño Original (Encuesta de Usuarios) (Elaboración Propia)

- Diseño C: Diseño más industrial y menos orgánico, con mayor vaciado estructural. Reducción de masa estimada: 2.450 g (39%).



Imagen 147 - Diseño C (Encuesta de Usuarios) (Elaboración Propia)

- Diseño G: Diseño equilibrado con geometría orgánica y optimización topológica selectiva. Reducción de masa estimada: 2.100 g (33,3%). (Este fue el concepto seleccionado para desarrollo final).



Imagen 148 - Diseño G (Encuesta de Usuarios) (Elaboración Propia)

Bloque 2. Preguntas principales:

- ¿Cuál de los tres conceptos te parece más atractivo visualmente? (Original / C / G / Ninguno)
- ¿Cuál de los tres conceptos transmite mayor sensación de robustez y fiabilidad? (Original / C / G)
- ¿Cuál de los tres diseños prefieres globalmente para un vehículo del segmento C como el Ford Focus? (Original / C / G)
- ¿Por qué? (campo abierto)

Bloque 3. Aspectos valorados (múltiple elección):

- Estética moderna y orgánica

- Apariencia de robustez y solidez
- Percepción de ligereza y tecnología avanzada
- Equilibrio entre ligereza y resistencia
- Otro (especificar)
- ¿Crees que el diseño elegido mejoraría la percepción de calidad del vehículo? (Escala 1-5)
- ¿Hasta qué punto te importa que un componente estructural como la mangueta esté optimizado en peso, aunque no sea visible una vez montado? (Escala 1-5)
- ¿Estarías dispuesto a elegir un vehículo con componentes optimizados mediante ingeniería inversa y optimización topológica si esto supone mejor comportamiento dinámico y menor consumo? (Escala 1-5)

Bloque final (opcional):

- Comentarios adicionales sobre los diseños presentados.

- Resultados Principales:

Concepto	Más atractivo Visualmente	Mayor Robustez Percibida	Preferencia Global
Original	18%	47%	22%
C	36%	15%	27%
G	46%	38%	51%

Tabla 20 - Resultados Principales Encuestas de Usuarios

- Resultados Clave:

- El Concepto G fue el preferido (51%). Destacó por ofrecer el mejor equilibrio entre estética moderna, ligereza percibida y robustez.
- El Concepto C, aunque atractivo visualmente para muchos, fue penalizado por transmitir menor robustez.
- El Concepto Original fue valorado positivamente por su apariencia tradicional y sólida, pero considerado menos innovador.

Los resultados de la encuesta validan claramente la elección del Concepto G como solución final en términos de diseño. Este concepto logra el mejor compromiso entre los criterios técnicos (reducción del 33,3 % de masa manteniendo $FOS > 2$) y las expectativas de los usuarios en cuanto a estética, robustez percibida y percepción de calidad.

Esta validación con usuarios refuerza que el rediseño propuesto no solo es técnicamente superior, sino que también responde a las preferencias reales de los conductores del segmento C, quienes valoran positivamente los diseños optimizados siempre que mantengan una imagen de solidez y fiabilidad.

10.3.2. Selección de la Propuesta Final

Tras la selección de propuestas, los dos diseños que continúan a la siguiente fase de desarrollo son los siguientes:

En esta etapa, la selección es mucho más funcional y directa. Garantizar la integridad estructural de la mangueta es un requisito fundamental del presente Trabajo de Fin de Grado, por lo que aquella mangueta con mayor FOS resultará elegida como rediseño de la mangueta original del Ford Focus Active 2021.

Por este motivo, se modelan paramétricamente ambas manguetas y se someten al evento dinámico más perjudicial: El “Caso Combinado”:

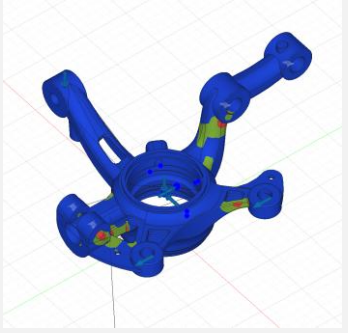
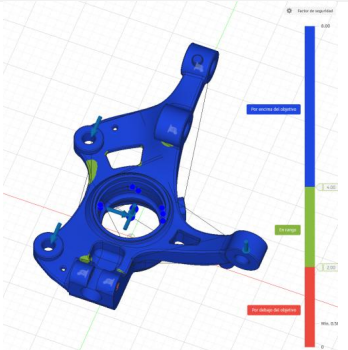
Mangueta	Núm.	FOS Min.	Demostración de la Simulación
	C	0.738	
	G	2.015	

Tabla 21 - Selección Final de la Propuesta

Como se puede observar, el concepto de rediseño “G” ofrece un mayor FOS respecto al rediseño “C”, cuyo Factor de Seguridad no cumple los objetivos mínimos, directamente.

Así pues, se selecciona la mangueta “G”. Véase a continuación el proceso detallado de modelado CAD y simulación de la mangueta seleccionada

10.4. Modelado CAD paso a paso de la nueva geometría optimizada

Tras la selección de la propuesta definitiva para el rediseño de la mangueta, comienza la fase de digitalización de la misma, dentro del entorno CAD.

Las restricciones geométricas establecidas con antelación representan un aspecto fundamental a mantener en la mangueta rediseñada. Por ello, el proceso de modelado CAD comienza bajo esa misma estructura base.

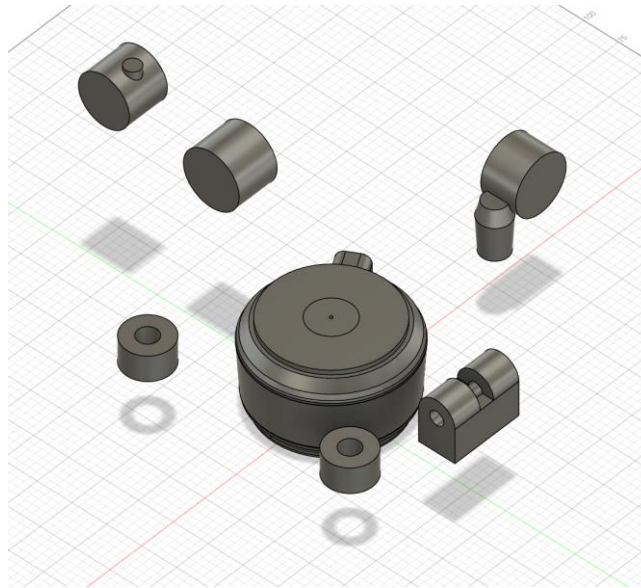


Imagen 149 - Estructura Base – Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)

La geometría predominante de la mangueta es su propio cuerpo. Esta geometría engloba todas las interfaces críticas de la pieza y actúa como nexo de unión entre ellas, convergiendo en el alojamiento del rodamiento del buje.

Esta morfología, eminentemente mucho más orgánica que su predecesor se ha logrado mediante la creación de 2 croquis 3D. Uno de ellos configura la parte inferior del cuerpo. El otro define la parte superior.

Cada uno de estos croquis definen su propia superficie. Durante esta fase del modelado CAD, no se trabaja con sólidos de manera directa, sino que se opta por una estrategia de conformado a través de superficies, que garantiza la correcta obtención de geometrías orgánicas.

Véase a continuación la definición del croquis de la parte inferior del cuerpo de la mangueta:

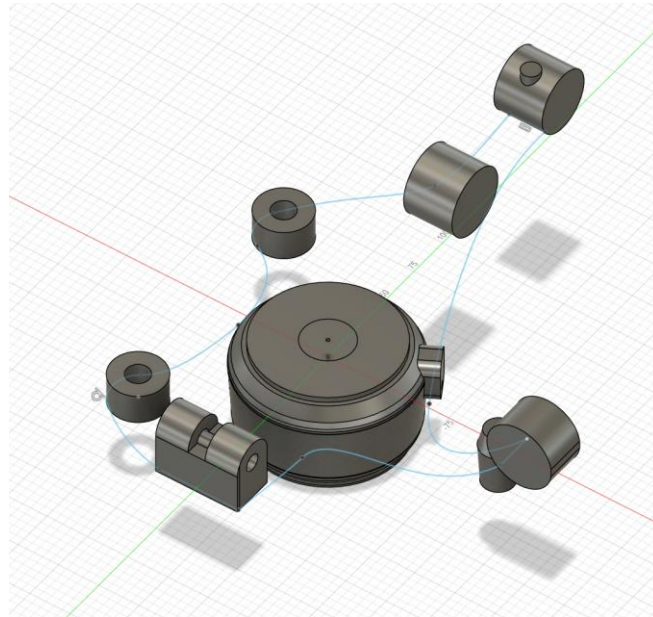


Imagen 150 - Croquis 3D Inferior Cuerpo – Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)

El siguiente croquis define la parte superior del cuerpo de la mangueta:

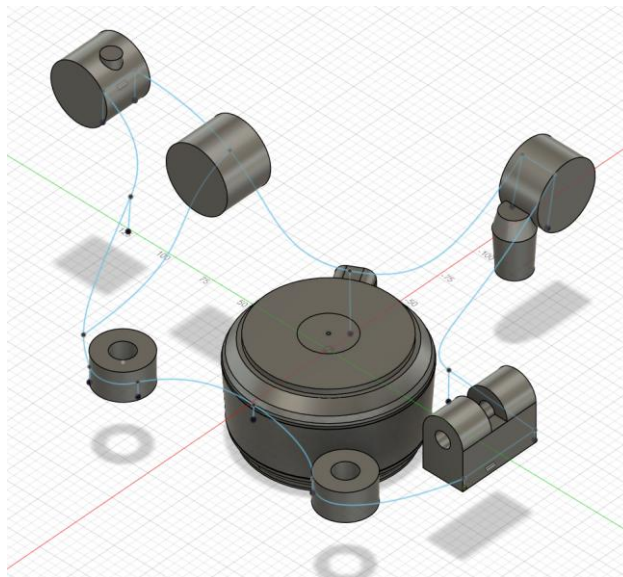


Imagen 151 - Croquis 3D Superior Cuerpo – Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)

Se generan 2 superficies independientes entre sí:

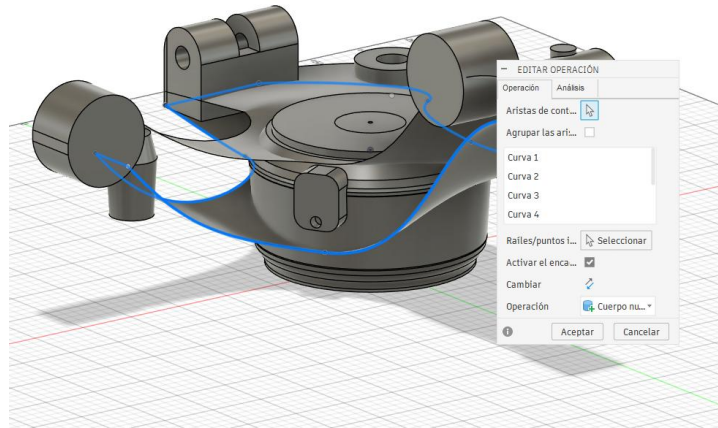


Imagen 152 - Superficies Cuerpo – Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)

Ambas superficies, superior e interior, se enlazan mediante la generación de una tercera superficie. Esta nueva geometría se conforma a través de un Solevado guiado por raíles verticales que definen la morfología del cuerpo correcta y orgánicamente.

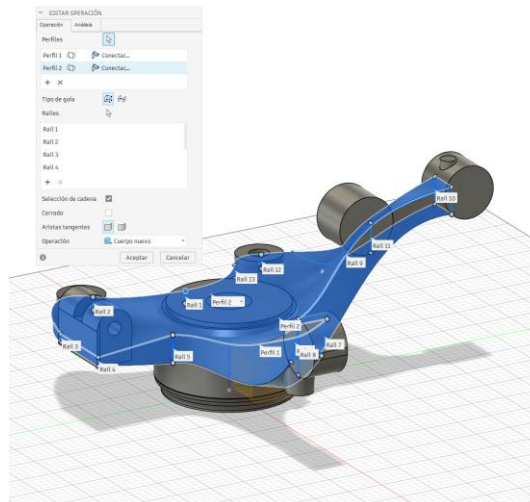


Imagen 153 - Geometría del Cuerpo – Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)

En esta fase del proceso, el cuerpo de la mangueta queda completamente definido. Sin embargo, todavía se encuentra en formato “Superficie”. Para poder

continuar el trabajo de manera paramétrica, el siguiente paso comprende la costura de las 3 superficies, en 1 único sólido.

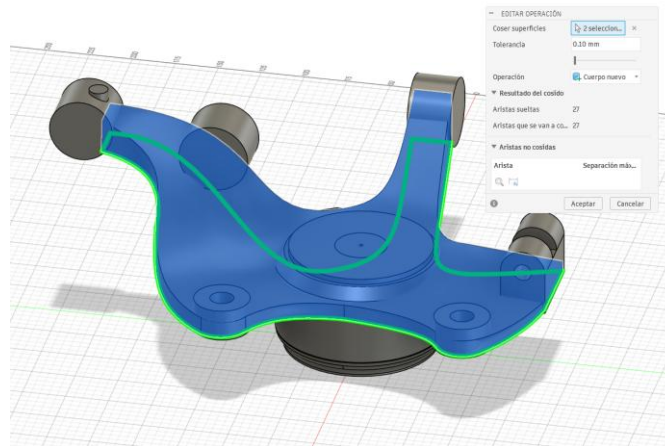


Imagen 154 - Costura de las Superficies del Cuerpo – Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)

Tras finalizar la operación “Coser”, se obtiene el cuerpo completo de la mangueta.

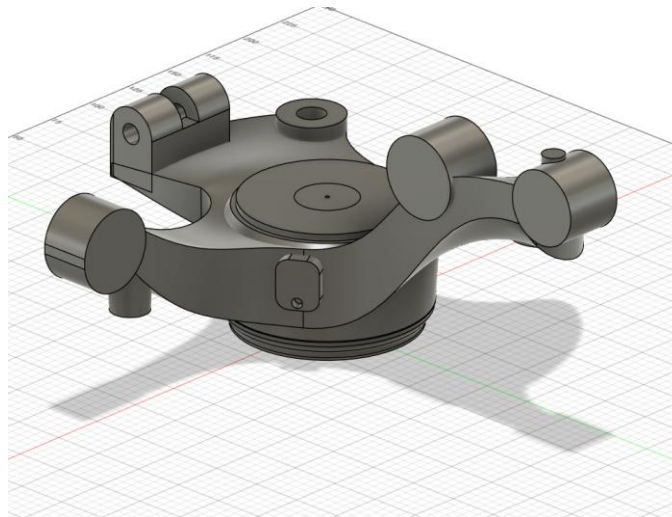


Imagen 155 - Cuerpo en Formato Sólido – Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)

Las aristas vivas pueden conllevar al resultado de singularidades matemáticas irreales en las simulaciones de esfuerzos. A su vez, son zonas localizadas donde los esfuerzos y las solicitaciones convergen y se concentran, disminuyendo la rigidez efectiva del acero, y agravando las posibilidades de fisura.

De esta manera, los radios de acuerdo, especialmente de radio de gran valor para piezas de acero por forja, constituyen un elemento indispensable en el rediseño de la mangueta del Ford Focus Active 2021. Una de las principales zonas donde se aplican estos radios de acuerdo (o “fillets”, tal y como se denominan en inglés) es el contorno (superior e inferior) del cuerpo de la mangueta.

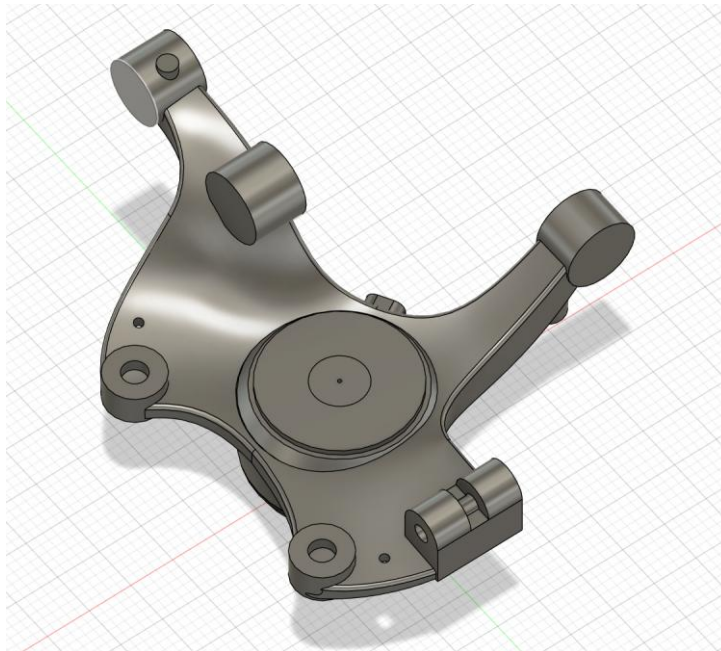


Imagen 156 - Radios de Acuerdo en el Cuerpo de la Mangueta– Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)

En el punto actual del proceso de modelado CAD, rótula inferior presenta una conexión endeble a infra dimensionada, que no corresponde a la propuesta conceptual de diseño escogida. Asimismo, mediante la operación de “Extrusión”, se genera la geometría pertinente que une la rótula inferior a la geometría principal de la mangueta.

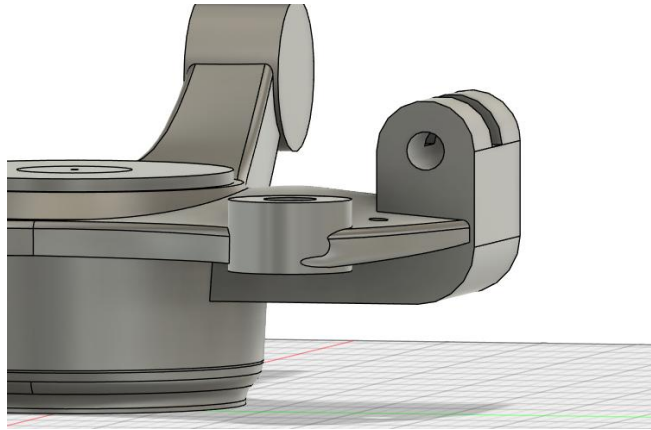


Imagen 157 - Geometría de la Rótula Inferior – Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)

Finalmente, se mecanizan los agujeros taladrados y las interfaces críticas de la mangueta original, establecidas como requerimiento geométrico, indispensable e invariable. La operación empleada en este caso es una “Extrusión” de tipo “Corte”.

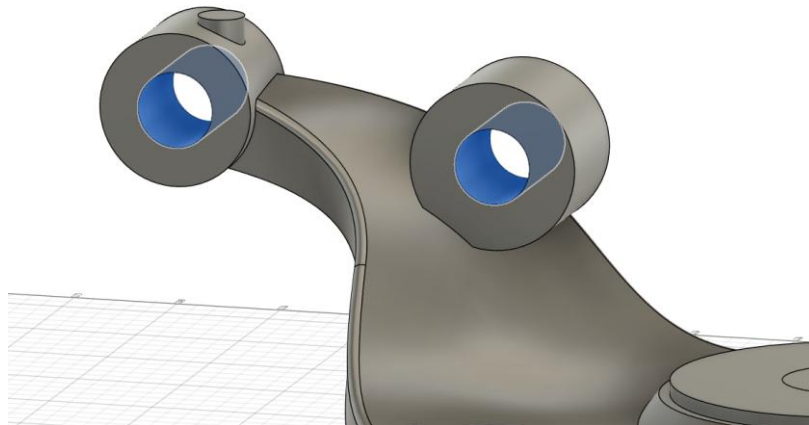


Imagen 158 - Mecanizado de anclajes de la Suspensión– Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)

Asimismo, se obtiene de manera estrictamente precisa el alojamiento del rodamiento del buje mediante un “Corte” de “Revolución”. Con el objetivo de asegurar una revolución idéntica a la geometría original, se reutiliza el croquis de la mangueta proveniente del Ford Focus Active 2021.



Imagen 159 - Revolución del Alojamiento del Rodamiento del Buje #1 - Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)

Una de las principales estrategias de aligeramiento en el rediseño de la mangueta del Ford Focus Active es el conformado de ventanas de aligeramiento a lo largo de la propia estructura de la mangueta. Ambas geometrías se consiguen mediante una “Extrusión” de tipo “Corte”.

Existen 2 ventanas de aligeramiento de gran relevancia. La primera se encuentra junto a la orejeta de la pinza de freno, y se extiende hasta la base de la geometría del brazo de suspensión.



Imagen 160 - Vaciados Estructurales #1 - Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)

La otra ventana de aligeramiento se sitúa justo en la base del brazo de dirección y se extiende hasta aproximadamente $\frac{1}{2}$ de la longitud del propio brazo.

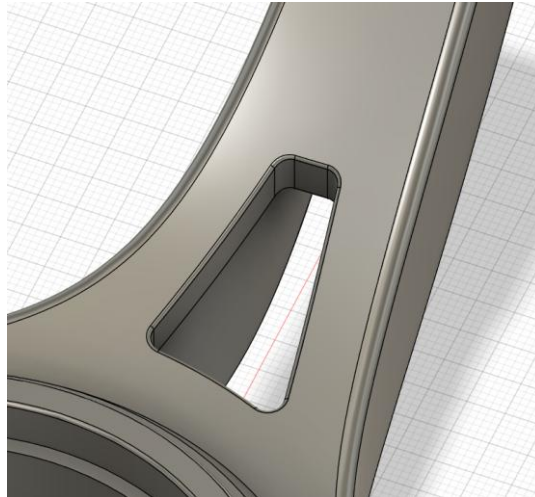


Imagen 161 - Vaciados Estructurales en Detalle - Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)

Véase a continuación la mangueta rediseñada final, tras el proceso de modelado CAD.



Imagen 162 - Resultado Final Modelado CAD - Modelado CAD Rediseño Mangueta (Elaboración Propia)

10.5. Renders y acabado estético del nuevo componente

A continuación, se pueden visualizar distintos renderizados fotorrealistas del diseño final de la mangueta optimizada del Ford Focus, en los que es posible apreciar el acabado superficial y estético de la pieza. Al mantenerse el acero como material principal y único, la apariencia visual de la mangueta transmite una clara intención de honestidad, robustez y fiabilidad de carácter técnico e industrial.



Imagen 163 - Renderizado Mangueta Rediseñada (Elaboración Propia)

Existe, además, una evidente dicotomía estética entre el acabado superficial global de la pieza y el acabado específico presente en determinadas secciones o interfaces críticas. Mientras que los cuerpos principales y las geometrías más orgánicas presentan un acabado robusto, que sugiere durabilidad y capacidad para soportar esfuerzos (acero de textura rugosa), las interfaces críticas de la pieza, aquellas encargadas del ensamblaje con otros componentes esenciales del conjunto del buje, como las pinzas de freno o las rótulas de dirección, muestran un acabado mucho más fino, mecanizado y optimizado, que refleja precisión y una elevada atención al detalle.

Incluso en componentes industriales como la mangueta, no concebidos para ser visibles dentro del conjunto del vehículo, el acabado superficial resulta un aspecto fundamental. En este rediseño, dicho acabado expresa de forma implícita las funciones de cada zona dentro del “todo”. Por un lado, se identifica una estructura de soporte robusta, resistente y funcional; mientras que, por otro,

se evidencia la precisión de la fabricación industrial trabajando bajo tolerancias estrictas, coexistiendo ambas cualidades en una única pieza.



Imagen 164 - Renderizado Mangueta Lateral (Elaboración Propia)

En conjunto, estos valores e ideales que el propio diseño transmite (la robustez estructural, la precisión en las interfaces críticas y la coherencia entre funcionalidad y fabricación) transmiten de manera clara y fiel el espíritu de Ford, basado en la resistencia, la ingeniería inteligente y la fiabilidad aplicada al mundo real.

Asimismo, esta filosofía de diseño no puede entenderse de forma aislada, sino en relación con el resto de componentes del conjunto del buje. Elementos como el buje, los rodamientos, la mangueta, las rótulas de dirección o las fijaciones del sistema de freno se conciben bajo un mismo lenguaje formal y de acabado, donde cada pieza mantiene una coherencia estética dentro del conjunto. La continuidad entre superficies, transiciones, texturas y niveles de mecanizado refuerza la unidad y coherencia visual del sistema, haciendo que todas las piezas dialoguen entre sí desde una misma lógica de diseño industrial, en la que la jerarquía visual de cada zona resultan fundamentales para la percepción global del conjunto.



Imagen 165 - Renderizado Mangueta Planta (Elaboración Propia)

11. Validación estructural del Rediseño

El proceso de rediseño de la mangueta deriva, tras la definición del lenguaje visual y la morfología de esta, en la validación estructural mediante simulaciones de esfuerzos. Cabe destacar que, uno de los objetivos principales y primordiales de este Trabajo de Fin de Grado consiste en el aligeramiento de la pieza, aplicando estrategias de reducción de la masa no suspendida sin que el factor de seguridad de la misma se viera críticamente afectado. Por tanto, esta es una etapa indispensable en el desarrollo del proyecto, pues permite identificar y verificar si el rediseño de la mangueta del Ford Focus Active cumple con los requisitos de integridad estructural.

11.1. Configuración de la Simulación

La configuración del entorno de simulación en Autodesk Fusion es exactamente la misma que la empleada en la simulación de la pieza original. Véase el apartado 8 de la Memoria para más información al respecto.

La igualdad de restricciones, material, fijaciones, hipótesis dinámicas y valores de carga permite comparar ambas manguetas de manera directa.

Como queda demostrado en el apartado 8 de la Memoria, el evento dinámico más perjudicial para la mangueta es el Caso Combinado, es decir, frenado máximo, junto con giro máximo y bache máximos de manera simultánea. De tal manera, la simulación más representativa de la integridad estructural del rediseño y aquella que se desarrolla durante este apartado es, precisamente, el Caso Combinado.

11.2. Simulación y Análisis de Resultados

Von Mises

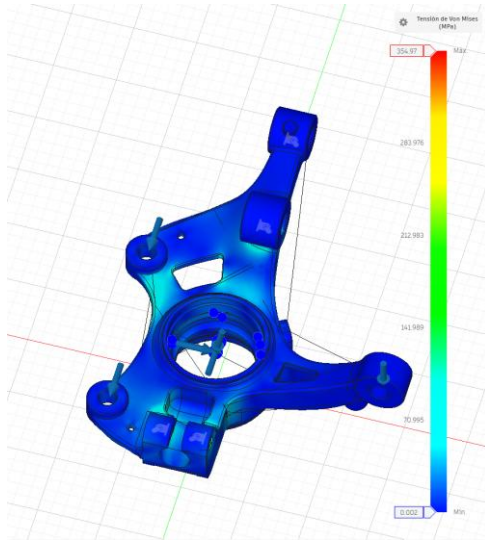


Imagen 166 - Von Mises – Rediseño (Propia)

FOS (Factor de Seguridad)

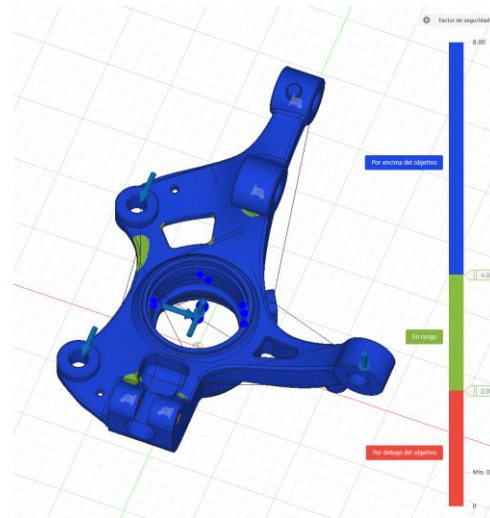


Imagen 167 - FOS – Rediseño (Propia)

Desplazamiento

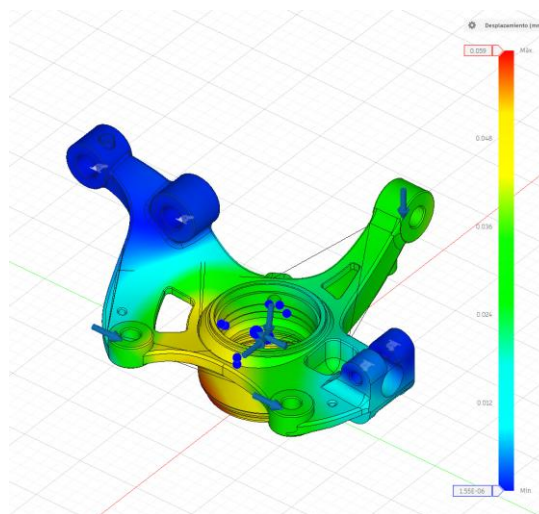


Imagen 168 - Desplazamiento – Rediseño (Elaboración Propia)

Resultado	Valor Nominal Mínimo ≈	Valor Nominal Máximo ≈
Von Mises (MPa)	0.002	288.962
FOS (Factor de Seguridad)	2.015	8
Desplazamiento (mm)	0	0.059

Tabla 22 - Resumen de Resultados – Bache En Curva

- **Análisis de resultados:** La simulación del Caso Combinado de la mangueta rediseñada muestra un mapa de tensiones y factor de seguridad muy similar a la pieza original.
 - En cuanto a la tensión de Von Mises, se encuentra localizada en puntos parecidos a la mangueta original, tales como la base inferior del brazo de suspensión, los brazos de la pinza de freno o de la rótula inferior. Sin embargo, se aprecia que las tensiones todavía son completamente aceptables, situándose en el rango inferior del histograma de cargas (Donde azul sugiere zonas con escasa sollicitación)
 - El Factor de Seguridad demuestra una configuración muy aproximada a la original. Destacan ciertas singularidades en zonas como los anclajes de la rótula inferior.
 - El desplazamiento ha incrementado, pero se localiza en las mismas zonas que la mangueta original, y sigue constituyendo un valor aceptable para el proyecto, dentro del límite de servicio.
- **Singularidades del Bache en Curva:** Al igual que con la mangueta original, el motor de simulaciones computacionales de Autodesk Fusion también genera picos de tensión irreales localizados en zonas como los extremos los anclajes. Esto se considera como una singularidad matemática cuyos efectos se desprecian y se descartan del análisis.

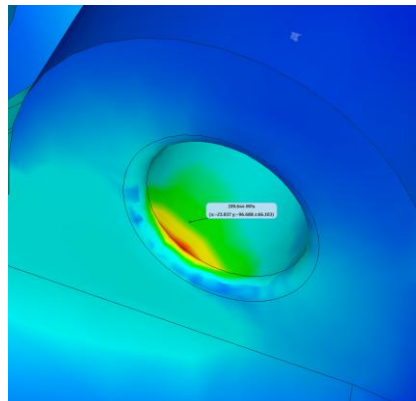


Imagen 169 - Singularidad Pico de Tensión – Rediseño (Elaboración Propia)

- **Conclusión:** Los resultados del análisis sugieren que el rediseño de la mangueta queda validado en referencia a la integridad física, estructural, y la capacidad de la mangueta de soportar cargas y esfuerzos en eventos adversos sin comprometer la seguridad vial.

11.3. Tabla comparativa Final

Mangueta	Original	Rediseño	Variación
Masa (kg)	6288	4196.726	−33.26%
Von Mises Mínimo (MPa)	0.002	0.002	0%
Von Mises (MPa)	265.862	288.962	+ 8.7%
FOS Mínimo (Factor de Seguridad)	2.035	2.015	−0.98%
FOS Máximo (Factor de Seguridad)	8	8	0%
Desplazamiento Mínimo (mm)	0	0	0%
Desplazamiento Máximo (mm)	0.035	0.059	+68.6%

Tabla 23 - Comparativa Final Original y Rediseño

- La masa se ha reducido en $\approx 33\%$

$$\frac{6288 - 4196.726}{6288} \times 100 \approx 33.26\%$$

- La tensión de Von Mises Mínima no ha variado. La tensión de Von Mises máxima ha incrementado en un $\approx 8.7\%$

$$\frac{288.962 - 265.862}{265.862} \times 100 \approx 8.69\%$$

- El FOS Mínimo ha disminuido en un $\approx 1\%$. El FOS Máximo no ha variado.

$$\left(\frac{2.015 - 2.035}{2.035} \right) \times 100 \approx -0.98$$

- El desplazamiento mínimo no ha variado. El desplazamiento máximo ha aumentado en un $\approx 68.6\%$. Matemáticamente hablando, un incremento de prácticamente el 70% sugiere un cambio notable. Sin embargo, la diferencia en valor absoluto es de $24 \mu m$. El componente sigue siendo muy rígido, y el desplazamiento está en un rango donde el efecto suele ser pequeño. El valor más indicativo de que este incremento no supone un riesgo es el Factor de Seguridad situándose por encima del 2.

$$\left(\frac{0.059 - 0.035}{0.035} \right) \times 100 \approx 68.6\%$$

$$59 \mu m - 35 \mu m = 24 \mu m$$

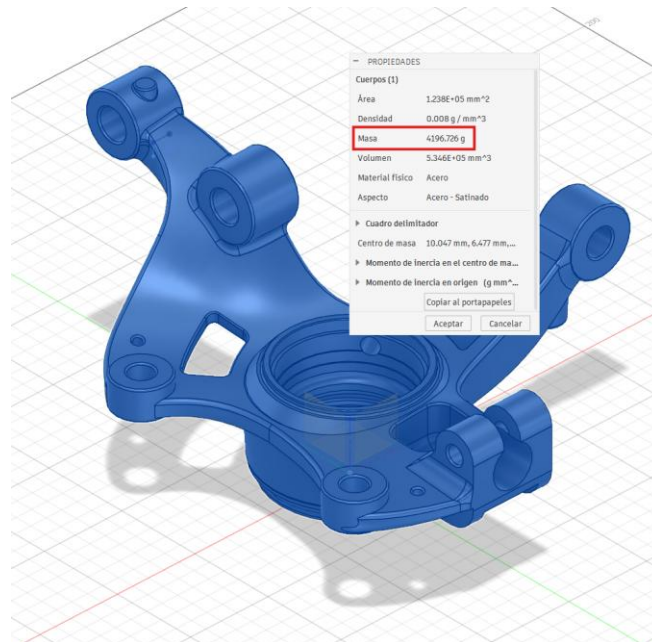


Imagen 170 - Justificación Masa - Rediseño (Elaboración Propia)

12. Estudio de Viabilidad Ambiental

12.1. Introducción y ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible)

El presente Trabajo de Fin de Grado se fundamenta en criterios de sostenibilidad orientados a aligerar el vehículo para disminuir el consumo de combustible y recortar las emisiones de CO₂ a lo largo de su vida útil.

Este proyecto de ingeniería sostenible se alinea directamente con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):

- **ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura):** Aplica innovación tecnológica y diseño avanzado para crear componentes automotrices más eficientes.



Imagen 171 - ODS 9 (Pactomundial.org)

- **ODS 12 (Producción y Consumo Responsables):** Reduce el uso de materia prima y optimiza el consumo de energía del vehículo.



Imagen 172 - ODS 12 (Pactomundial.org)

- **ODS 13 (Acción por el Clima):** Ayuda a frenar el cambio climático al reducir directamente las emisiones de gases contaminantes.



Imagen 173 - ODS 13 (Pactomundial.org)

12.2 Consideraciones previas al Estudio de Viabilidad Ambiental

Bajo esta premisa, se ha reducido sustancialmente la masa en la mangueta

$$\Delta m = 6.288 - 4.196726 = 2.091274 \text{ kg}$$

Dado que el eje delantero de un automóvil contiene dos ruedas, existen dos manguetas: la derecha y la izquierda. Por ello, para calcular el impacto total por vehículo, los valores unitarios deben multiplicarse por dos.

La reducción de masa lograda en una sola mangueta se calcula mediante la diferencia entre la pieza original y la optimizada:

$$\Delta m = 6,288 - 4,196726 = 2.091274 \text{ kg}$$

Redondeando de forma conservadora, se obtiene un aligeramiento de 2,09 kg por mangueta. Por lo tanto, el ahorro total de masa no suspendida por vehículo es de 4,18 kg.

$$\Delta m_{TrenDelantero} = 2.09 * 2 = 4,18 \text{ kg}$$

Esta reducción del peso de la mangueta afecta positivamente a la masa no suspendida del vehículo y, por consiguiente, a su eficiencia energética global. No obstante, es fundamental establecer que el impacto de un componente individual no se traduce de forma lineal y automática en un ahorro de combustible idéntico, ya que no existe una fórmula matemática universal que ligue el consumo del vehículo exclusivamente a su masa.

Para evaluar el impacto ambiental y energético de la mangueta rediseñada en este proyecto, se ha desarrollado un modelo de estimación basado en la reducción de masa del vehículo.

12.2.1. Relación entre masa y consumo energético

Desde la perspectiva de la dinámica del vehículo, la masa total influye directamente en el consumo energético a través de dos variables: la fuerza necesaria para acelerar el vehículo ($F = m * a$) y la fuerza necesaria para vencer la rodadura de los neumáticos sobre el pavimento (Payri & Desantes, 2011). Por lo tanto, cualquier reducción de peso lograda mediante el rediseño geométrico o la sustitución de materiales disminuirá la demanda energética global.

Se estima que la reducción de consumo es aproximadamente proporcional a la reducción de peso, aunque con ciertas restricciones que afectan al diseño de componentes individuales:

- **Efecto Fracción de Masa:** Un componente aislado representa un porcentaje muy pequeño de la masa total del vehículo. Como referencia para este proyecto, se toma como base un turismo del segmento compacto (Segmento C), el Ford Focus Active 2021, cuya masa en vacío se sitúa en los 1322Kg. Tras la reducción de masa obtenida tras el rediseño de la mangueta, desciende a 1317,82Kg.
- **Influencia del Ciclo de Conducción:** El impacto del peso varía según las condiciones de uso. Mientras que en conducción urbana la reducción de masa es crítica debido a las constantes aceleraciones, en conducción por carretera a velocidad constante el peso pierde protagonismo frente a la resistencia aerodinámica, la cual depende exclusivamente de la geometría exterior del vehículo y no de su masa (MIT, 2008).

12.2.2 Escenarios de Ahorro Energético

Al diseñar piezas más ligeras en un entorno automovilístico se debe diferenciar entre dos escenarios detallados por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, 2008):

1. **Ahorro Primario (Componente aislado):** Si solo se aligera el componente manteniendo el motor original, un descenso del 10% del peso total del vehículo se traduce en un ahorro de combustible de entre el 3% y el 4%. Esto se debe a que el motor sigue programado para mover el peso original del vehículo.
2. **Ahorro Secundario (Rediseño óptimo):** Si el aligeramiento permite además reducir el tamaño del motor o de los frenos, el ahorro por cada 10% de peso menos escala hasta el 6% - 7%: "In other words, for every 10% weight reduction from the average new car or light truck's weight, the vehicle's fuel consumption reduced by 6.9% and 7.6%, respectively." (ON THE ROAD IN 2035).

Para mantener un enfoque de diseño realista y conservador, en este proyecto se evaluará únicamente el impacto del ahorro primario, pues el único componente rediseñado es la mangueta de dirección.

12.3. Supuestos del Modelo de Cálculo

Para cuantificar el ahorro final de combustible sin sobredimensionar los resultados, se adoptan los siguientes límites:

- **Vehículo tipo:** Vehículo sujeto a estudio a lo largo de este proyecto, el Ford Focus Active 2021 1.0 Ecoboost 125cv Manual. Su peso tras el rediseño es de 1317,82Kg.
- **Uso:** Ciclo mixto (combinación equilibrada de trayecto urbano y carretera).
- **Coeficiente de Consumo:** Se aplica un factor de 0,35L/100 km por cada 100kg de masa reducida. Este valor responde estrictamente al rango de consenso internacional de 0,30 a 0,50 L/100 km validado por el *Joint Research Centre* de la Comisión Europea (Zacharof & Fontaras, 2016):
“With respect to the effect of mass in real-world driving, an additional 100 kg is reported to increase fuel consumption by an average 7 % for a medium-sized car of 1 500 kg (FORUM Umweltbildung 2008). In absolute numbers, an additional 100 kg load can cause an increase from 0.3 to 0.5 l/100km (EcoDrive 2010b, VW 2010b, VDA 2011, ADAC 2012a, Löhner 2013)”

12.4. Aplicación del Modelo y Cálculo del Impacto Energético

Una vez definido el marco metodológico y los coeficientes de sensibilidad, se procede a evaluar el impacto del rediseño de la mangueta sobre el consumo global del vehículo de estudio.

Los datos de partida extraídos del proceso de optimización geométrica son:

Concepto	Valor (Kg)
Masa del vehículo original	1322
Masa del vehículo optimizado	1317,82
Reducción de masa absoluta	4,18

Tabla 24 - Masas y Reducciones

Considerando el escenario de ahorro primario (componente aislado sin modificación del motor) y aplicando el coeficiente medio de sensibilidad validado por el *Joint Research Centre* (Zacharof & Fontaras, 2016) de 0,35 L/100 km por cada 100kg de masa eliminada, se calcula el ahorro de combustible por cada 100 kilómetros mediante la siguiente relación:

$$\text{Ahorro de Combustible} = \Delta_m * \left(\frac{0,35L/100Km}{100Kg} \right)$$

$$\text{Ahorro de Combustible} = 4,18Kg * \left(\frac{0,35L/100Km}{100Kg} \right)$$

$$\text{Ahorro de Combustible} = 4,18Kg * 0,0035$$

$$\text{Ahorro de Combustible} = 4,18Kg * 0,01463L/100Km$$

12.5. Discusión de Resultados desde la Perspectiva de Diseño

Aunque un ahorro de 0,0146 L/100 km pueda parecer numéricamente pequeño en términos absolutos, este resultado debe interpretarse bajo los siguientes criterios:

- **Efecto acumulativo en la vida útil:** Si se asume un ciclo de vida útil estándar para un vehículo compacto de 200.000km, el rediseño de esta pieza evita el consumo de aproximadamente 29,26 litros de combustible por vehículo.

Escenario (km)	Ahorro de Combustible (L)
100	0,0146
100.000	14,63
200.000 (Vida útil estimada)	29,26

Tabla 25 - Escenarios de Efecto Acumulativo en Ahorro de Combustible

- **Masa no suspendida:** Como beneficio técnico adicional, la mangueta forma parte de la masa no suspendida del vehículo. Aligerar 4,18kg en esta zona no solo reduce el consumo, sino que mejora directamente la respuesta dinámica de la suspensión, disminuye las inercias en las ruedas y reduce el desgaste de los componentes de amortiguación (Payri & Desantes, 2011).
- **Viabilidad de producción en serie:** Las grandes reducciones de peso se logran mediante la suma de pequeñas optimizaciones individuales. Lograr casi 4,2kg de ahorro en un solo componente estructural es un hito significativo que, escalado al resto de elementos del chasis, valida la metodología de diseño empleada.

12.6. Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas en la fase de uso.

Para el cálculo de las emisiones de dióxido de carbono evitadas se aplica los factores de emisión estandarizados para combustibles automotrices de la Unión Europea y el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (Zacharof & Fontaras, 2016). De acuerdo con estos estándares, la combustión de 1 litro de gasolina convencional genera aproximadamente 2,31 kg de CO₂.

Multiplicando este factor por los valores de ahorro de combustible calculados en el apartado 12.5, se obtienen las emisiones de gases de efecto directas que se evitan a lo largo de la vida operativa del vehículo:

Escenario (km)	Ahorro de Combustible (L)	CO ₂ evitado (Kg)
100	0,0146	0,0337
100.000	14.63	33,80
200.000 (Vida útil estimada)	29.26	67,59

Tabla 26 - Emisiones de CO₂ evitadas acumuladas en la fase de uso del vehículo.

12.7. Impacto Ambiental Asociado a la Fabricación del Material

El impacto ambiental no solo se limita al uso del vehículo, sino que está estrechamente ligado a la gestión de los materiales durante el proceso productivo. De acuerdo con los inventarios globales de la World Steel Association recopilados por el ICCT (Negri & Bieker, 2025), la producción de 1 kg de acero para automoción genera una huella de carbono de entre 1,8 y 2,2 kg de CO₂, adoptándose para este estudio un valor medio de 2,0 kg de CO₂/kg.

Considerando que el proceso de manufactura de la mangueta se basa en la conformación por forja y posterior mecanizado CNC a partir de un bloque macizo inicial, las dimensiones exteriores generales se mantienen constantes respecto al modelo original. Por lo tanto, la introducción de vaciados y optimizaciones geométricas en el diseño no reduce el volumen del tocho de partida, sino que incrementa la cantidad de material residual generado en forma de virutas (2,09 kg adicionales por mangueta).

No obstante, este rediseño constituye un indicador de sostenibilidad clave dentro de la economía circular: al desviar este excedente de material directamente hacia los canales de reciclaje industrial para la producción de acero

secundario, se reduce la demanda de hierro en la cadena de suministro global. Dado que el procesamiento de acero reciclado genera hasta un 70% menos de emisiones que el acero primario (Negri & Bieker, 2025), la optimización geométrica planteada promueve una reducción proporcional en la huella de carbono industrial previa a la puesta en circulación del vehículo.

$$2,09Kg * 2 = 4,18Kg \text{ de virutas de acero adicionales por coche}$$

$$4,18Kg * 2,0 = 8,36Kg \text{ CO}_2 \text{ acero primario (tocho)}$$

$$4,18Kg * 0,6 = 2,51Kg \text{ CO}_2 \text{ acero reciclado}$$

$$8,36Kg - 2,51Kg = 5,85Kg \text{ de CO}_2$$

adicionales evitados por coche en el proceso de fabricación

13. Estudio de Impacto Económico

Dado que la reducción de masa lograda mediante las operaciones de vaciado estructural en la mangueta rediseñada (~2,09 kg por pieza) representa un impacto modesto en el balance aislado de un único vehículo, el verdadero alcance dinámico, ambiental y económico de esta propuesta radica en su análisis a escala macroscópica mediante la producción en serie. Para evaluar la viabilidad industrial del proyecto, se establece un modelo en función del volumen total de vehículos fabricados (N).

Considerando que cada vehículo equipa dos manguetas en el eje delantero (derecha e izquierda), el modelo de escalado industrial se rige por las siguientes variables y relaciones funcionales:

- **Incremento en la masa de viruta generada para reciclaje**
(ΔM_{viruta}): Esta variable cuantifica el excedente de acero adicional tras el rediseño que se retira en el taller como consecuencia directa de la mayor profundidad y complejidad geométrica de los vaciados de optimización.

Para el desarrollo de este modelo, se adopta una restricción operativa real y conservadora: el bloque de partida (tocho) se mantiene estrictamente idéntico al original. Dado que las dimensiones exteriores máximas, los puntos de anclaje funcionales y las interfaces críticas con los sistemas de suspensión, dirección y frenado permanecen inalterados, conservar el mismo bruto de partida evita la necesidad de realizar una inversión de gran capital en el rediseño, fabricación y homologación de una nueva matriz de forja industrial. Esta estrategia permite implementar la optimización topológica de manera inmediata en la planta productiva, requiriendo únicamente el reprogramado de las fases de desbaste y acabado en los centros de mecanizado CNC existentes. Como consecuencia, todo el material aligerado en el componente se transforma íntegramente en residuo metálico en el taller, cuya función de escalado responde a:

$$\Delta M_{viruta} = 4,18Kg * N$$

- **Ahorro de CO₂):** De acuerdo con los factores estandarizados de la World Steel Association (Negri & Bieker, 2025), la diferencia entre la huella de carbono del acero primario (2,0 kg CO₂/kg de acero) y la del acero secundario (0,6 kg CO₂/kg de acero) otorga un beneficio de 1,4 kg de CO₂ por cada kilogramo de residuo reciclado. La función de emisiones evitadas en la fase de fabricación se formula como:

$$R_{chatarra} = 4,18Kg * N * 1,4 kg \frac{CO_2}{Kg} = 5,82 * N kg de CO_2$$

14. Justificación del Diseño Final de la Mangueta Delantera Derecha

14.1. Descripción de la Solución Adoptada

La solución de diseño final adoptada para la mangueta delantera derecha del vehículo de estudio (Ford Focus Active 2021) consiste en un rediseño geométrico que integra la optimización estructural con criterios estéticos y funcionales de diseño.

Tras evaluar las alternativas, se ha optado firmemente por mantener el uso del acero como material del componente, específicamente una aleación de alta resistencia como el Acero 42CrMo4 y gran presencia en el sector del automóvil, en lugar de realizar una sustitución por aluminio. Esta decisión responde a estrictos criterios de viabilidad industrial y contención de costes de fabricación a gran escala, permitiendo conservar los procesos ya establecidos por el fabricante y eludiendo las costosas inversiones en utillajes específicos o formación de personal u otros costes asociados.

Desde una perspectiva de diseño industrial, mantener el acero aporta un valor de honestidad al diseño: su acabado final evoca una alta robustez y solidez industrial, alineándose perfectamente con la identidad crossover y aventurera del acabado Active de Ford.

La nueva mangueta destaca por una morfología optimizada y esbelta que disminuye drásticamente la masa global del componente. El peso final se reduce desde los 6,288 kg del diseño original hasta alcanzar los 4,196 kg en la versión rediseñada. Esto representa un éxito en la reducción de masa del 33,26%.

Esta reducción de peso conlleva un impacto ecológico y medio ambiental directo durante la fase de uso del vehículo: al reducir las masas no suspendidas del tren delantero, se mitiga el consumo de combustible y las emisiones de CO₂.

Para garantizar una compatibilidad absoluta de montaje e instalación, todas las restricciones funcionales y mecánicas se han mantenido estrictamente invariables respecto al modelo digitalizado. Esto incluye el alojamiento del rodamiento del buje insertado a presión, las orejetas de sujeción para las pinzas de freno, los dos anclajes de acoplamiento para el brazo de la suspensión McPherson, y los puntos de unión articulados para el brazo de dirección y la rótula inferior.

14.2. Justificación de las modificaciones geométricas principales

Las modificaciones geométricas y estéticas de la pieza se han realizado a partir de las simulaciones de esfuerzos del modelo original y el estudio de mercado de sus competidores y otras manguetas de vehículos de otros segmentos, mostrando un claro sobredimensionamiento de la pieza. Se observó que la mayor parte del volumen trabajaba con tensiones muy bajas, lo que indicaba una utilización ineficiente del material.

A partir de este diagnóstico, se aplicaron varias optimizaciones de diseño:

- Se realizó un vaciado en “U” en el brazo de suspensión, eliminando material en la zona central sin afectar a la rigidez global de la sección. Con ello se reduce masa manteniendo el comportamiento estructural.
- En el brazo de dirección se llevó a cabo un adelgazamiento general y un vaciado interior, ya que los resultados del análisis mostraban un factor de seguridad excesivamente alto. Esto permitió reducir material sin comprometer la resistencia necesaria.
- También se incorporaron ventanas estratégicas y vaciados localizados en zonas como la base del brazo de suspensión, la rótula inferior y los brazos de soporte de las pinzas de freno. Estas modificaciones se aplican únicamente en regiones con niveles de tensión reducidos, identificadas previamente en los mapas de carga.

En conjunto, estas modificaciones permiten una reducción de masa significativa manteniendo la integridad estructural del componente.

Sin embargo, desde el punto de vista del diseño industrial, la nueva geometría no solo cumple una función estructural de reducción de masa, sino que también actúa como un recurso expresivo capaz de reforzar la percepción visual del componente acorde a la identidad de marca de Ford. La redistribución de material y la optimización formal de la mangueta generan una lectura más ligera y técnicamente avanzada, donde la eliminación de volúmenes innecesarios transmite eficiencia y optimización. Esta ligereza visual no implica fragilidad, sino una estructura más depurada. De este modo, el componente no solo mejora en términos funcionales, sino que también eleva su calidad estética, alineándose con un lenguaje de diseño más moderno. En el contexto del acabado Active, esta solución refuerza además una imagen de robustez controlada y sofisticación técnica, coherente con la identidad aventurera del vehículo y de la propia marca en sus últimos modelos (Explorer, Bronco, etc...).

14.3. Factor Humano, Ergonomía y Diseño para el Montaje

En el marco del diseño industrial, el factor humano y la ergonomía representan pilares indispensables en el desarrollo de cualquier producto. Por ello, la mangueta optimizada ha sido rediseñado bajo requisitos de Diseño para el Montaje y Diseño para el Mantenimiento, beneficiando tanto a los operarios de la línea de ensamblaje en fábrica como a los mecánicos de automoción en talleres, usuarios finales de esta mangueta.

- **Prevención de errores mediante asimetría:** Se ha explorado la asimetría propia del componente para consolidar una forma inequívoca entre la mangueta derecha e izquierda al exagerar visual y geoméricamente las interfaces de anclaje y los brazos que las definen. Esto impide físicamente que un operario o un sistema automatizado intente ensamblar por error el componente en el lado equivocado del vehículo, anulando el riesgo de fallos humanos en la cadena de producción en serie.



Imagen 174 - Asimetría entre Mangueta Derecha e Izquierda

- **Ergonomía y Manipulación:** La reducción de la masa de la pieza (un ahorro aproximado de 2,100 g por mangueta) tiene un impacto directo inmediato en la salud laboral. Al disminuir el peso que el operario debe manipular repetidamente a lo largo de su jornada en la línea de montaje, se disminuye significativamente la carga y se previene la aparición de problemas musculares y articulares.
- **Accesibilidad:** Las orejetas de la pinza de freno se encuentran completamente despejadas y en plano, y permiten que el mecánico

encaje la pinza e introduzca los tornillos de forma directa, cómoda y con espacio suficiente para manipular los elementos de fijación.

- **Acabado Superficial y Textura:** El acabado negro rugoso (E-Coat) mejora el agarre táctil. Una pieza de peso considerable que está resbaladiza por grasa u otros agentes externos puede ser peligrosa. Esta textura ayuda a prevenir accidentes durante el montaje.
- **Jerarquización Visual de los Elementos:** Si bien dentro del “todo”, es decir, la pieza propia, se emplea un único material, el acero, se emplean diversos procesos de manufactura. Principalmente, se encuentra el proceso de Forja y el posterior mecanizado de alojamientos e interfaces críticas de montaje. De esta manera, se define una jerarquía visual clara que divide, por un lado, la estructura encargada de soportar los esfuerzos durante la rodadura del vehículo (Forma orgánica rugosa sin mecanizar). Por otro lado, se encuentran aquellos elementos e interfaces que resultan indispensables para la unión y el acoplamiento de otros elementos como las pinzas de freno, rótulas y brazos de dirección, suspensión, etc... (Zonas mecanizadas).

15. Conclusiones y Líneas de Trabajo Futuras

15.1. Conclusiones respecto a la reducción de masa y seguridad

El desarrollo de este proyecto de ingeniería inversa, rediseño y optimización permite validar la hipótesis de partida, demostrando que es posible aligerar drásticamente un componente de seguridad activa en automoción sin poner en compromiso su integridad estructural. Con base en los resultados numéricos de las simulaciones y los análisis de sostenibilidad, se extraen las siguientes conclusiones principales:

- **Optimización de la dinámica del vehículo:** El rediseño estructural ha consolidado una reducción de masa neta del 33,26%, lo que se traduce de manera directa en la supresión de más de 2 kg de masa no suspendida por cada conjunto de rueda delantera. Esto permite al muelle y al amortiguador para reaccionar de forma mucho más ágil y precisa, permitiendo que el neumático copie con fidelidad las irregularidades del firme y recupere el contacto con el asfalto. Como consecuencia directa, se mejora la adherencia neumática, se optimiza la distancia de frenado y la estabilidad direccional en situaciones límite en curva, y se incrementa notablemente el confort de marcha de los ocupantes al disipar con mayor eficiencia la energía del relieve de la calzada.
- **Acabado estético:** El rediseño de la mangueta no solo responde a criterios estructurales, sino que también refuerza el papel del diseño industrial en el proceso de optimización. Se genera una geometría más ligera, limpia y avanzada, que transmite eficiencia y optimización sin comprometer la percepción de robustez, elevando la estética final de la mangueta. Este lenguaje formal más depurado reduce la sensación de “sobredimensionamiento” del componente original y aporta una mayor coherencia visual con las tendencias actuales de diseño en automoción, donde la funcionalidad se expresa de forma honesta a través de la forma. En el contexto del acabado Active del Ford Focus, este tratamiento estético contribuye a reforzar la identidad aventurera del vehículo mediante una imagen de solidez técnica refinada, combinando resistencia percibida con sofisticación industrial y coherencia formal con el resto del conjunto mecánico.

- **Sostenibilidad y viabilidad económica:** El aligeramiento del componente impacta de manera favorable en el ciclo de vida medioambiental del vehículo. Al disminuir el peso, se estima un ahorro de combustible directo y una consecuente reducción en las emisiones de dióxido de carbono a lo largo de los kilómetros de servicio del automóvil.
- **Validación de la seguridad estructural bajo condiciones críticas:** El nuevo diseño geométrico fue sometido a una validación estructural estricta bajo la hipótesis analítica más desfavorable o "Caso Combinado". Los resultados computacionales sugieren la seguridad activa del componente. Aunque la tensión máxima de Von Mises se incrementó de forma controlada en un 8,7% debido a la reducción de sección (pasando de 265,86 MPa a 288,96 MPa), los niveles generales de esfuerzo se mantienen concentrados de forma estable en la zona inferior del histograma de cargas y notablemente por debajo del límite elástico del acero seleccionado.
- **Cumplimiento de normativas industriales:** El indicador definitivo del éxito del rediseño radica en el comportamiento del Factor de Seguridad (FOS) mínimo, el cual únicamente experimentó una variación del -0,98%, pasando de un valor original de 2,035 a un valor optimizado de 2,015. La industria de automoción establece que un Factor de Seguridad mínimo igual o superior a 2 es plenamente aceptable para el diseño de manguetas comerciales destinadas a la circulación vial. Al situarse sólidamente en 2,015, queda matemáticamente validado que el nuevo componente cuenta con la resistencia necesaria para absorber los esfuerzos dinámicos más severos de la conducción sin riesgo de deformación plástica o fallo, resguardando la integridad física del vehículo y sus ocupantes.

15.2. Conclusiones sobre la viabilidad del cambio de material

Tras un análisis comparativo entre la aleación de acero originalmente considerada para la optimización (Acero 42CrMo4) y una alternativa ligera de aluminio, se determina que la sustitución por aluminio no resulta viable para este proyecto debido a los siguientes factores críticos:

- **Sostenibilidad económica y costes:** Aunque el aluminio permite aligerar aún más la mangueta, el coste del material por unidad y el gasto energético asociado a su procesamiento industrial incrementan exponencialmente. La implementación de aleaciones ligeras exigiría una reestructuración de las líneas de producción del fabricante.
- **Acabado estético superficial:** Desde la perspectiva de diseño industrial y en relación a la percepción emocional de la calidad del producto, se puede establecer que el aluminio constituye una opción premium que transmite ligereza y modernidad. Sin embargo, el acero ofrece una sensación de robustez y acabado industrial propia de una pieza tal como una mangueta, que se ajusta fielmente a los valores del fabricante, Ford en este caso. La selección del acero como material se justifica, a su vez, por la dicotomía producida por el contraste del acero con acabado superficial rugoso para las zonas “base” de la mangueta, y las zonas mecanizadas y refinadas como los anclajes de la misma, generando así, no solo un acabado superficial más estético que su predecesor, sino además funcional y ergonómico (Se distingue con claridad que zonas de la mangueta funcionan como soporte estructural, y que otras zonas funcionan como nexo de unión con otros elementos del conjunto de la mangueta).



*Imagen 175 - Diferencia de Zonas Estructurales e Interfaces Críticas (Acabado Superficial)
(Elaboración Propia)*

- **Rendimiento mecánico y volumen:** Debido al menor límite elástico y módulo de elasticidad del aluminio en comparación con el acero 42CrMo4, para cumplir con el Factor de Seguridad ante el caso de carga combinado más severo, sería obligatorio sobredimensionar

notablemente los espesores y secciones de la mangueta. Cabe destacar que no constituye necesariamente un aspecto decisivo para la elección de material en comparación a los dos puntos anteriores.

- **Conclusión:** El empleo del Acero 42CrMo4 se consolida como la única alternativa que equilibra perfectamente un aligeramiento considerable de la pieza (33,26%) con una viabilidad financiera óptima y una menor huella ecológica de fabricación.

15.3. Futuras líneas de Trabajo

El presente Trabajo de Fin de Grado establece un marco excelente para la continuación evolutiva del diseño de la mangueta del Ford Focus, en función de las características relevantes tanto de competidores del segmento C como vehículos de otros segmentos e incluso de alta gama. Además, las siguientes líneas de trabajo propuestas para el futuro también se basan en características de la mangueta observadas durante el propio desarrollo del Trabajo de Fin de Grado, así como metodologías experimentales y de última generación en la industria.

Cabe destacar que, a fecha de entrega de este TFG, Ford ha cesado la producción del Ford Focus, y no existen comunicados oficiales acerca de la continuidad del modelo en el futuro, aunque existen rumores en la industria que indicarían un posible retorno del mismo, transformado en SUV (Esto es, del Segmento C al Segmento C-SUV).

Sin embargo, es un análisis interesante y extrapolable a manguetas de modelos que todavía prosiguen en producción, tales como el Ford Kuga o el Ford Puma.

- **Transición hacia Rodamientos atornillados:** En base al benchmarking, se puede asegurar que se trata de una tendencia clara actual en automoción, y que por razones de modularidad, compatibilidad dentro de la misma plataforma y mantenimiento, constituye una línea de mejora clara hacia las próximas generaciones de la mangueta.
- **Transición a Materiales más ligeros:** Los datos extraídos del benchmarking sugieren una transición del acero tradicional al aluminio para la fabricación de manguetas en la industria del automóvil. Si bien este aspecto era parte de otra restricción de diseño para el presente TFG, constituye una vía clara de mejora y evolución.
- **Diseño Generativo y Morfologías Orgánicas Puras:** Las herramientas de Software modernas permiten el análisis computacional de hipótesis dinámicos como los presentados en este proyecto. En base a estos estudios, el programa genera una malla automatizada, orgánica y completamente optimizada en función de las características del material empleado. Resulta una vía de estudio y optimización futura muy interesante, sobre todo en consonancia con el uso de técnicas de fabricación aditiva.
- **Fabricación Aditiva:** El uso de técnicas de impresión 3D industrial se presenta como el complemento indispensable para la línea de trabajo anterior. La fabricación aditiva permite materializar las

geometrías complejas y optimizadas que resultan del diseño generativo, las cuales serían imposibles de ejecutar mediante métodos de fabricación tradicionales como la forja o el mecanizado. Una futura línea de investigación crucial sería evaluar la viabilidad técnica y económica de este proceso para la mangueta.

- **Validación Experimental y Ensayos en Banco:** Pasar del entorno puramente virtual a la fase física. Proponer la fabricación de un prototipo físico de la mangueta optimizada para someterlo a ensayos de fatiga y pruebas de carga y esfuerzos en un banco de ensayos, permitiendo validar los coeficientes de seguridad obtenidos en las simulaciones de este TFG.

16. Bibliografía y Referencias

16.1 Bibliografía

Datos técnicos y documentación de vehículos

- KM77. *Ford Focus Active 5 puertas 1.0 EcoBoost 92 kW (125 CV) – Datos técnicos*. Consultado el 5 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.km77.com/coches/ford/focus/2019/active-5-puertas/estandar/focus-active-5-puertas-10-ecoboost-92-kw-125-cv/datos>
- Ford Motor Company. *Ford Focus 2021 – Technical Specifications*. Consultado el 5 de mayo de 2026. Disponible en: https://media.ford.com/content/dam/fordmedia/Europe/documents/en/2021/FordFocus2021_TechSpecs.pdf
- KM77. *Ford Focus Sportbreak Vignale 1.0 EcoBoost 92 kW (125 CV) – Datos técnicos*. Consultado el 5 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.km77.com/coches/ford/focus/2018/sportbreak/vignale/focus-sportbreak-vignale-10-ecoboost-92-kw-125-cv/datos>
- KM77. *Mazda3 2019 5 puertas – Información técnica*. Consultado el 16 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.km77.com/coches/mazda/mazda3/2019/5-puertas/informacion>
- KM77. *Tesla Model 3 AWD Long Range Battery – Datos técnicos*. Consultado el 19 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.km77.com/coches/tesla/model-3/2018/sedan/estandar/model-3-awd-long-range-battery/datos>

Suspensión, dinámica y componentes mecánicos

- Noticias.Coches.com. *Tipos de suspensiones: ventajas y desventajas*. Consultado el 17 de mayo de 2026. Disponible en: <https://noticias.coches.com/consejos/tipos-de-suspensiones-ventajas-y-desventajas/154515>
- IAD Argentina. *Sistema MacPherson y tracción delantera*. Consultado el 17 de mayo de 2026. Disponible en: <https://iad.la/blogs/sistema-macpherson-traccion-delantera-argentina/>
- Sandvik Coromant. *Steering Knuckles*. Consultado el 17 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/industry-solutions/automotive/components/knuckles>

- ResearchGate. *Body pitch during braking*. Consultado el 18 de mayo de 2026. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Body-pitch-during-braking_fig1_350029602

Escaneado 3D y digitalización

- Shining 3D. *EinScan Pro HD*. Consultado el 19 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.einscan.com/escaneres-3d-portatiles/einscan-pro-hd-es/>
- Artec 3D. *What is reverse engineering?* Consultado el 4 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.artec3d.com/learning-center/what-reverse-engineering>
- Meshlab. *Open source system for processing and editing 3D triangular meshes*. Consultado el 19 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.meshlab.net/>

Materiales, fabricación y procesos

- 3Dimetik. *DIN EN ISO 1302 – Rugosidad superficial*. Consultado el 25 de mayo de 2026. Disponible en: <https://3dimetik.de/en/glossar/din-en-iso-1302/>
- Metinvest Holding. *Acero 42CrMo4 – Propiedades y aplicaciones*. Consultado el 27 de mayo de 2026. Disponible en: <https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/42crmo4>
- Surface Finishing México. *Recubrimiento E-coat: qué es, cómo funciona y por qué es clave en la industria*. Consultado el 27 de mayo de 2026. Disponible en: <https://surfacefinishingmx.com/recubrimiento-e-coat-que-es-como funciona-y-por-que-es-clave-en-la-industria/>
- Autodesk. *Generative Design in Autodesk solutions*. Consultado el 2 de junio de 2026. Disponible en: <https://www.autodesk.com/solutions/generative-design>

Sostenibilidad y emisiones

- Organización de las Naciones Unidas (ONU). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Consultado el 25 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Negri, M., & Bieker, G. (2025). *Life-cycle greenhouse gas emissions from passenger cars in the European Union*. International Council on Clean Transportation (ICCT).
- Bandivadekar, A., et al. (2008). *On the Road in 2035: Reducing Transportation's Petroleum Consumption and GHG Emissions*.

Massachusetts Institute of Technology (MIT), Laboratory for Energy and the Environment.

- Zacharof, N. G., & Fontaras, G. (2016). *Review of in use factors affecting the fuel consumption and CO₂ emissions of passenger cars*. Joint Research Centre (JRC), European Commission.
- Payri, F., & Desantes, J. M. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Universitat Politècnica de València / Editorial Reverté.
- Ecoembes Empresas. *Análisis de ciclo de vida (ACV)*. Consultado el 2 de junio de 2026. Disponible en: <https://ecoembesempresas.com/analisis-ciclo-de-vida>

Artículos científicos

- Zoroufi, M., & Fatemi, A. *Fatigue Life Comparisons of Competing Manufacturing Processes: A Study of Steering Knuckle*. SAE Technical Paper 2004-01-0628. Consultado el 24 de mayo de 2026. DOI: 10.4271/2004-01-0628
- Ranganathan et al. *Design and Analysis of Steering Knuckle at Diverse Strengthening Condition*. SAE Technical Paper 2020-28-0501. Consultado el 24 de mayo de 2026.

16.2 Referencias

Referencias

Componentes, piezas y desguaces

- Desguace Bonaire. *Mangueta delantera derecha Ford Focus Active*. Consultado el 5 de mayo de 2026. Disponible en: https://desguacebonaire.es/piezas-veh%C3%ADculos/57988-mangueta_delantera_derecha_2194085_ford_focus_active.html
- AUTODOC. *Componente Optimal*. Consultado el 5 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.autodoc.es/optimal/19344453>
- Rose Passion. *Mangueta delantero derecho Porsche*. Consultado el 5 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.rosepassion.com/es/95834115601-p255970-mangueta-delantero-derecho-P255970>

Manuales y documentación de fabricante

- Tesla Service Manual. *Procedimiento de servicio Model 3*. Consultado el 5 de mayo de 2026. Disponible en:
<https://service.tesla.com/docs/Model3/ServiceManual/es-es/GUID-8FFD8B8D-28AE-4989-8138-64245DDFD26F.html>

Noticias y mercado

- Motor1 España. *Clasificación mundial: los 10 modelos más vendidos de 2024*. Consultado el 5 de mayo de 2026. Disponible en:
<https://es.motor1.com/news/763891/clasificaci%C3%B3n-mundial-10-modelos-mas-vendidos-2024/>

Materiales, software y servicios

- Stena Stål. *Acero 42CrMo4*. Consultado el 24 de mayo de 2026. Disponible en: <https://shop.stenastal.se/product/301184-10-segh%C3%A4rdningsst%C3%A5l-42crmo4>
- Autodesk. *Fusion 360*. Consultado el 24 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.autodesk.com/es/products/fusion-360/overview>
- 3D Print Filam. *EinScan Pro HD*. Consultado el 24 de mayo de 2026. Disponible en: <https://3dprintfilam.com/producto/einscan-pro-hd/>
- Autodesk. *Análisis de tensiones (Stress Analysis)*. Consultado el 2 de junio de 2026. Disponible en:
<https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2012/ESP/caas.html?url=caas/v-help/help-dev-autodesk-com/v/Inventor/esp/2012/Help/2021-An-lisis2021/2022-Para-emp2022/2023-An-lisis2023/2032-Interpre2032/2033-Tensi-n-2033.html>

Herramientas, maquinaria y metrología

- Sandvik Coromant. *Herramienta de mecanizado 462.1-1780-053A0-XM X2BM*. Consultado el 24 de mayo de 2026. Disponible en:
<https://www.sandvik.coromant.com/es-es/product-details?c=462.1-1780-053A0-XM%20X2BM&m=8653443&listName=ai-assistant-tool-search&listId=listid&listIndex=0>
- Hoffmann Group. *Herramienta de mecanizado referencia 484000-26*. Consultado el 24 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.hoffmann-group.com/ES/es/hoef/p/484000-26>
- Ugarte Zestoa. *Mordaza mecánica de precisión TORAX*. Consultado el 24 de mayo de 2026. Disponible en: <https://tienda.ugarte-zestoa.com/mordazas-de-precision/29972-torax-mordaza-mecanica-de-precision-175-x-500-x-755-mm>

- Leroy Merlin. *Sierra de cinta para metalurgia Optimum S-181 G*. Consultado el 28 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.leroymerlin.es/productos/sierra-de-cinta-para-metalurgia-s-181-g-optimum-84284135.html>
- Profilab24. *Horno tubular Thermconcept ROC 1500°C*. Consultado el 28 de mayo de 2026. Disponible en: <https://profilab24.com/es/laboratorio/hornos-de-laboratorio/horno-tubular-de-alta-temperatura-thermconcept-roc-1500c>
- Toolnation. *Torno CNC Holzmann CD3675TOP*. Consultado el 28 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.toolnation.es/holzmann-cd3675top-400v-torno-cnc.html>
- AP Maquinaria. *Granalladora Cintermaq PAL-1S*. Consultado el 28 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.apmaquinaria.com/maquinas-granalladoras-y-arenadoras/1422-granalladora-cintermaq-pal-1s.html>
- MachineSeeker. *DEA Global Image 091508*. Consultado el 28 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.machineseeker.es/dea+spa-global+image+091508/i-21194470>
- Leroy Merlin. *Mandril autocentrante de 3 garras 200 mm*. Consultado el 28 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.leroymerlin.es/productos/mandril-200mm-3-garras-hierro-fundido-ht300-auto-centrante-preciso-tekmaquinas-98773540.html>
- TillTools. *Fresa de roscado de metal duro integral*. Consultado el 28 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.tilltools.de/es/fresa-de-roscado-de-metal-duro-integral-fresa-de-roscado-por-torbellinado-2xd-para-rozca-metrica-iso-TT10752.1>
- TodoElectrónica. *Rugosímetro digital portátil*. Consultado el 28 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.todoelectronica.com/rugosimetro-digital-portatil-con-medicion-ra-rz-rq-y-rt-y-software-de-analisis-p-117714.html>
- Sitgesmaq. *Alexómetro con comparador*. Consultado el 28 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.sitgesmaq.es/relojes-comparadores/9879-alexometro-con-comparador-set-50-160-mm-4010873202681.html>
- Unceta. *Calibre de profundidad Absolute Digimatic*. Consultado el 28 de mayo de 2026. Disponible en: <https://www.unceta.es/productos/metrologia-y-dinamometria/calibres-de-profundidad-absolute-digimatic-zidD11542>

Normativa

- AENORMás. Consulta de normas técnicas UNE e ISO. Consultado el 14 de mayo de 2026. Disponible en:
<https://aenormas.aenor.com>

Pliego de Condiciones:

**Rediseño y Optimización Topológica de una
Mangueta de Automóvil mediante Ingeniería Inversa
y Criterios de Sostenibilidad**

Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos. 2025/2026

ETSIADI, Universitat Politècnica de Valencia (UPV)



Autor: Alejandro Cuartero Molina

Tutor: Andrés Conejero Rodilla

ÍNDICE DE CONTENIDOS DEL PLIEGO DE CONDICIONES

1. Objeto y alcance del Pliego de Condiciones	197
2. Especificaciones técnicas de los materiales.....	198
2.1. Composición Química del Acero seleccionado	198
2.2. Propiedades Mecánicas y Físicas	199
3. Especificaciones de los Procesos de Fabricación y Tratamientos Superficiales ...	200
3.1. Proceso de Fabricación Primario	200
3.1.1. Corte de tocho	200
3.1.2. Calentamiento del Material	200
3.1.3. Forja Cerrada	200
3.2. Tratamientos Térmicos	201
3.2.1. Temple.....	201
3.2.2. Revenido.....	201
3.2.3. Granallado	201
3.3. Proceso de Mecanizado por CNC	202
3.4. Tratamiento Superficial y Acabado Anticorrosivo.....	204
4. Tolerancias Dimensionales y Acabados Superficiales	205
4.1. Tolerancias Dimensionales Generales	205
4.2. Tolerancias Dimensionales Específicas	205
4.3. Requisitos de Rugosidad Superficial.....	207
5. Control de Calidad	208
5.1. Inspección Dimensional.....	208
5.2. Ensayos de Discontinuidades Superficiales	208
5.3. Ensayos de Fatiga	208
6. Normativa Técnica y Regulación de Seguridad Aplicable	209

7. Condiciones de Sostenibilidad y Fin de Vida	210
7.1. Inspección Dimensional.....	210
7.1. Economía Circular y Huella de Carbono	210
7.2. Reciclabilidad y Gestión de Fin de Vida	210

1. Objeto y alcance del Pliego de Condiciones

El presente Pliego de Condiciones establece las condiciones técnicas, legales y de calidad necesarias para el rediseño optimizado y la fabricación de la mangueta delantera derecha del Ford Focus Active 2021. El documento define los criterios exigibles para la selección de materiales, los procesos de conformado mediante forja y mecanizado CNC, así como los protocolos de validación estructural necesarios para asegurar el cumplimiento del Factor de Seguridad (FOS) objetivo.

El objeto de este pliego es garantizar que el componente rediseñado mantenga la integridad funcional exigida en el sector del automóvil, integrando criterios de sostenibilidad mediante la optimización topológica. Asimismo, se detallan los requisitos para el control de calidad y las directrices para el mantenimiento y el fin de vida del producto, promoviendo la circularidad del componente. Las subsecuentes operaciones de ensamblaje posteriores a la fabricación de la mangueta de dirección, tales como la inserción del rodamiento del buje o el porta pinzas, no quedan incluidos en este documento.

En caso de discrepancia documental entre la memoria técnica, los planos, el presupuesto o el presente pliego de condiciones, prevalecerá lo establecido en este último documento.

2. Especificaciones técnicas de los materiales

2.1 Composición Química del Acero seleccionado

De acuerdo con lo establecido durante el desarrollo de la memoria, se desestima el uso de aleaciones de aluminio, prescribiendo de forma estricta el uso de Acero tipo 42CrMo4, procediendo a su uso bajo el estricto cumplimiento de la norma europea UNE-EN ISO 683-2. Este tipo de acero es común en la ingeniería mecánica y el sector del automóvil, pues ofrece altas resistencias. El material será suministrado por un proveedor de acero (especificado en el cuadro presupuestario como Stena Stål) en formato de tochos. Cabe destacar que este tipo de acero es el equivalente al Acero 4140 bajo la normativa estadounidense.

Véase a continuación la composición química porcentual del Acero 42CrMo4:

Símbolo	Elemento	Porcentaje Mínimo (%)	Porcentaje Máximo (%)
C	Carbono	0.38	0.45
Si	Silicio	0.10	0.40
Mn	Manganeso	0.60	0.90
P	Fósforo	0	0.025
S	Azufre	0	0.035
Cr	Cromo	0.90	1.20
Mo	Molibdeno	0.15	0.30
Cu	Cobre	0	0.045

Tabla X: Composición Química del Acero 42CrMo4

2.2 Propiedades Mecánicas y Físicas

En la siguiente tabla se detallan las constantes físicas utilizadas en el análisis y simulaciones de esfuerzos descritas en la memoria, junto con los requerimientos mecánicos mínimos reales que el acero seleccionado debe verificar en los ensayos:

Parámetro	Valor de Diseño	Requisito Mínimo Real
Densidad (kg/mm ³)	7.85×10^{-6}	7.85×10^{-6}
Módulo de Young (GPa)	210	210
Coeficiente de Poisson	0.30	0.30
Límite Elástico (MPa)	207	≥ 650
Resistencia Máxima a la Tracción (MPa)	345	900-1100
Alargamiento Mínimo a la Rotura (%)	-	≥ 12
Resiliencia en Ensayo de Impacto Charpy (J)	-	≥ 35

Tabla X: Comparación de Propiedades Mecánicas Acero de Diseño y Acero 42CrMo4

Las simulaciones de esfuerzos incorporadas en la memoria del TFG se ejecutaron asumiendo un límite elástico inicial conservador de 207 MPa. Debido a que el material real prescrito en el presente Pliego de Condiciones es un acero 42CrMo4 tratado térmicamente que alcanza un Límite Estático ≥ 650 MPa, el componente real ofrecerá un Factor de Seguridad (FOS) real significativamente superior al resultado, asegurando una rigidez y seguridad estructural excelente ante sollicitaciones extremas e impactos en calzada sin peligro de fractura o deformación permanente.

3. Especificaciones de los Procesos de Fabricación y Tratamientos Superficiales

El flujo del proceso productivo planteado a continuación para la mangueta rediseñada debe ser replicada con exactitud. La correcta secuencia de operaciones debe ser reflejada en el cuadro de mano de obra, quedando terminalmente prohibida cualquier tipo de alteración y/o modificación de alguna de las fases sin autorización expresa de la dirección del proyecto.

3.1. Proceso de Fabricación Primario

3.1.1. Corte de tocho

El material base recibido de Stena Stål en tocho será seccionado en frío mediante cizalla. Las dimensiones nominales del bloque base de corte se definen en $247 \times 136 \times 294$ mm.

3.1.2. Calentamiento del Material

Cada tocho individual será transferido a un horno industrial donde se someterá a un calentamiento durante un tiempo de 25 minutos hasta alcanzar la temperatura de forja en caliente.

3.1.3. Forja Cerrada

El tocho en caliente será posicionado en la matriz inferior de una prensa de forja. Mediante un ciclo de prensado (tiempo estimado de operación: 2 minutos), el material irá rellenando por completo las cavidades correspondientes a la geometría optimizada de la mangueta.

El proceso garantizará la continuidad de la fibra del material, logrando una resistencia superior a la fatiga en comparación con procesos alternativos.

3.2 Tratamientos Térmicos

3.2.1. Temple

Con el objetivo de aumentar la dureza y resistencia a la fatiga, los tochos, tras su paso por la forja, serán sometidos a un calentamiento uniforme, manteniendo la operación durante 15 minutos para asegurar la homogeneidad total de la fase. Posteriormente, se ejecutará un enfriamiento rápido por inmersión, transformando la estructura interna en un componente de elevada dureza, pero alta fragilidad.

3.2.2. Revenido

Con el fin de dotar a la mangueta de su tenacidad, resiliencia y límite elástico exigido, se aplicará de forma consecutiva un proceso de revenido. Las piezas se recalentarán en horno a temperaturas inferiores a las anteriores durante un periodo de 15 minutos, seguido de un enfriamiento al aire en condiciones normales. Este tratamiento elimina por completo las tensiones internas originadas en la fase previa del temple.

3.2.3. Granallado

Las manguetas revenidas se someterán a una operación de granallado durante un ciclo de 6 minutos. Se proyectará granalla de acero sobre la superficie completa del componente con el fin de desprender restos indeseados adheridos durante los tratamientos térmicos, proporcionando un acabado superficial homogéneo y sobre el cual poder seguir trabajando.

3.3. Proceso de Mecanizado por CNC

- **Planeado y Fresado de Caras de Referencia (8 min)**

Para asegurar el correcto mecanizado de las siguientes operaciones, se realiza un fresado de desbaste y acabado de los planos principales de la mangueta que actúan como zonas críticas de la misma (caras de apoyo, superficies de anclaje, origen de coordenadas...)

- **Taladrados Principales (12 min)**

Se realizan las principales perforaciones en la mangueta, específicamente en el buje, brazo de suspensión, brazo de dirección, rótula inferior, pinzas de freno...

- **Fresado de Ventanas (10 min)**

Vaciado geométrico en zonas poco solicitadas de la mangueta de dirección, constituyendo de esta manera una de las principales medidas y estrategias de aligeramiento estructural durante la fase de optimización topológica, contribuyendo y garantizando uno de los principales objetivos del presente Trabajo de Fin de Grado: La reducción de masa de la mangueta.

- **Mandrinado de Desbaste del Alojamiento del Buje (15 min)**

Operación de mandrinado interior cilíndrico, realizada en torno, con el objetivo de aproximar el diámetro del alojamiento del rodamiento.

- **Mandrinado de Acabado del Buje (10 min)**

Operación con de mandrinado interior con el objetivo de alcanzar acabados superficiales a nivel micrométrico mediante plaquitas de alta precisión. Esta fase es esencialmente crítica, ya que, debidas las restricciones geométricas y de diseño establecidas, se mantiene el sistema de rodamiento a presión, exigiendo un acabado estrictamente preciso.

- **Refrentados y Taladrados Secundarios (18 min)**

Operación combinada de refrentado plano y taladrado de las zonas periféricas del componente: el alojamiento roscado de precisión para el sensor electrónico del sistema ABS, los alojamientos de la chapa protectora del buje...

- **Chaflanado General (6 min)**

Eliminación de aristas vivas y rebabas procedentes del mecanizado. Esta fase contribuye a la disminución de picos de tensión en zonas localizadas de la mangueta.

- **Rectificado General (12 min)**

Acabado final de las principales superficies de apoyo de la mangueta para asegurar tolerancias de planitud de estricta precisión. Este paso es fundamental para reducir drásticamente las vibraciones producidas durante la rodadura del vehículo.

3.4 Tratamiento Superficial y Acabado Anticorrosivo

Como última fase del proceso de fabricación de la mangueta, se realiza un tratamiento superficial conocido como “E-Coat”, con una duración total de 12 minutos.

Este eficiente proceso tiene como objetivo proteger la pieza contra la corrosión e incrementar considerablemente su vida útil.

Para desarrollar esta última fase de tratamiento superficial, la mangueta se sumerge en un baño de pintura líquida y se aplica corriente eléctrica, de manera que el recubrimiento se adhiera a la pieza. Finalmente, se eliminan excesos de material presentes en la mangueta, y se endurece el recubrimiento en un horno industrial para incrementar su resistencia.

4. Tolerancias Dimensionales y Acabados Superficiales

El cumplimiento de las tolerancias indicadas en este apartado es crucial para asegurar el correcto ensamblaje e intercambiabilidad de componentes con el diseño original de Ford sin repercutir en micro-vibraciones.

El acabado superficial final se especifica mediante un proceso de granallado que homogeneiza la superficie tras la forja, eliminando imperfecciones y otorgando una textura micro-rugosa mate. Este acabado texturizado reduce los reflejos indeseados, disimula el desgaste por impactos de grava y consolida una estética técnica de alta calidad percibida. Además, también conlleva mejoras ergonómicas para operarios y mecánicos que manipulen la pieza.

4.1. Tolerancias Dimensionales Generales

Para todas aquellas dimensiones derivadas de un proceso de mecanizado que no cuenten con una indicación explícita de tolerancia en los planos técnicos adjuntos al presente Trabajo de Fin de Grado, se aplicará la norma ISO 2768, que regula y especifica las tolerancias dimensionales y geométricas generales de grado medio para dibujos técnicos y piezas de fabricación.

Para todas aquellas dimensiones en bruto procedentes del proceso de forja, se registrarán bajo la norma EN-10243-1, la cual especifica las tolerancias dimensionales para piezas de acero forjadas en caliente mediante prensas verticales, adecuándose estrictamente al caso del proyecto.

4.2. Tolerancias Dimensionales Específicas

En base a las normativas relacionadas con el dimensionamiento y tolerancias de cumplimiento obligatorio internacional ISO 1101, se estipulan los siguientes requisitos:

- **Coaxialidad del Alojamiento del Rodamiento del Buje:** El diámetro interior mandrinado para el alojamiento del rodamiento con ajuste por apriete se establece bajo una tolerancia ISO P7 y un requisito de coaxialidad máximo de 0,030 mm respecto al eje del buje.
- **Perpendicularidad de las Orejetas de las Pinzas de Freno:** Las caras rectificadas de las orejetas destinadas al soporte del porta pinza deben cumplir una tolerancia estricta de perpendicularidad de 0.02mm respecto al eje del buje central para evitar vibraciones indeseadas.

4.3. Requisitos de Rugosidad Superficial

En consonancia a la norma ISO 21920-1, la rugosidad superficial de la mangueta vendrá determinado por los siguientes valores máximos de Rugosidad R_a :

- **Superficies de forja en bruto y zonas no mecanizadas:**
 $R_a \leq 12.5$ tras la fase de granallado.
- **Caras de Referencia y Fresados Generales:** $R_a \leq 3.2$
- **Caras de Fijación de Suspensión, Dirección, Orejetas de Pinza de Freno y Rótula:** $R_a \leq 1.6$
- **Alojamiento del Buje Central:** $R_a \leq 0.8$

5. Control de Calidad

5.1. Inspección Dimensional

En la línea de producción en serie, al menos el 5% de las manguetas de cada lote serán sometidas a un estudio de verificación geométrica mediante el uso de una Máquina de Medición por Coordenadas. Cualquier desviación de las cotas funcionales fuera de las tolerancias fijadas en el apartado 4 implicará el rechazo del lote completo por cuestiones de seguridad.

5.2. Ensayos de Discontinuidades Superficiales

Con el objetivo de detectar discontinuidades superficiales, tales como fisuras, poros o grietas en la geometría de la mangueta, se realizará un ensayo no destructivo por líquidos penetrantes tal y como regula la normativa EN ISO 3452-1.

Este ensayo ha de realizarse tras la fase de granallado.

Quedará clasificada como defectuosa y retirada del lote cualquier mangueta que evidencie indicios de grieta superficial considerable en cualquier zona de esta.

5.3. Ensayos de Fatiga

Las manguetas se someten a esfuerzos y cargas considerables durante uso en la conducción de un automóvil. Como validación mecánica del diseño de la mangueta, se realizarán ensayos destructivos en un banco de pruebas que simule fielmente el evento dinámico más extremo: “Caso Combinado”.

Las fuerzas aplicadas durante dicho ensayo corresponden estrictamente a las calculadas en la memoria del presente TFG

Condición	Expresión	Fuerza (N)
Fuerza Frenado	$1.5 \cdot m \cdot g$	5.836
Fuerza Giro	Nominal	100
Fuerza en Buje Eje-X	$3 \cdot m \cdot g$	11.672
Fuerza en Buje Eje-Y	$3 \cdot m \cdot g$	11.672
Fuerza en Buje Eje-Z (Lateral)	$1 \cdot m \cdot g$	3.890,6

Tabla 27 - Fuerzas aplicadas al Ensayo Destructivo por Fatiga

6. Normativa Técnica y Regulación de Seguridad Aplicable

El diseño, cálculo, fabricación, control de tolerancias, inspección y validación de la mangueta rediseñada del Ford Focus Active se rige por las siguientes normativas internacionales aplicables directamente al propósito del presente Trabajo de Fin de Grado.

- **PNE-prEN ISO 9001:** Sistemas de Gestión de la Calidad. Base sobre la cual se estructura IATF 16949.
- **UNE-EN ISO 683-2:** Reúne las condiciones del tratamiento térmico de aceros. Aplica a aceros aleados y aceros de fácil mecanización. Parte 2: Aceros aleados para temple y revenido.
- **EN 10243-1:** Tolerancias dimensionales para piezas forjadas en estampa de acero ejecutadas en caliente.
- **ISO 22081:** Especificación Geométrica de Productos (GPS). Tolerancias geométricas. Especificaciones geométricas generales y especificaciones generales de dimensión.
- **ISO 1101:** Especificación geométrica de productos (GPS). Tolerancia geométrica. Tolerancias de forma, orientación, localización y alabeo.
- **ISO 21920-1:** Especificación geométrica de productos (GPS). Calidad superficial: Método del perfil. Parte 1: indicación de la calidad superficial.
- **EN ISO 3452-1:** Ensayos no destructivos. Ensayo por líquidos penetrantes.
- **UNE-EN 10204:2006:** Productos Metálicos. Tipos de documentos de inspección.
- **ISO 14040:** Gestión ambiental. Evaluación del Ciclo de Vida.
- **ISO 2768:** Especificaciones Geométricas de Productos (GPS). Tolerancias Dimensionales. Límites de Tolerancia para la especificación general de dimensiones lineales y angulares.
- **EN ISO 683-1:2019:** Aceros para tratamiento térmico, aceros aleados y aceros de fácil mecanización. Parte 1: Aceros no aleados para temple y revenido.

7. Condiciones de Sostenibilidad y Fin de Vida

7.1. Economía Circular y Huella de Carbono

El enfoque ecológico del componente se evaluará bajo el marco de la gestión ambiental de ciclo de vida (ISO 14040), estipulando los siguientes requerimientos para el material y el diseño:

- **Fase de Suministro:** El lote de acero 42CrMo4 será adquirido directamente al proveedor metalúrgico Stena Stål. Se exigirá a dicho proveedor que, junto con el material, adjunte la Declaración Ambiental de Producto bajo norma ISO 14025. Este documento deberá acreditar que el acero ha sido fabricado mediante procesos de bajas emisiones, garantizando la trazabilidad ecológica del suministro.
- **Fase de Uso:** Al reducir la masa del componente frente al diseño original de Ford, se disminuye el peso no suspendido del vehículo. Esta reducción estructural conlleva un ahorro energético directo durante la vida operativa del automóvil.

7.2 Reciclabilidad y Gestión de Fin de Vida

Al final de la vida útil operativa del vehículo Ford Focus Active 2021 (estimada de forma estándar y globalizada en el presente TFG a una media de 200.000Km y alrededor de 15-20 años), el componente se clasifica legalmente como un residuo metálico limpio y plenamente valorizable de acuerdo con las normativas medioambientales comunitarias de desguace de vehículos fuera de uso. Al estar constituida la mangueta de manera íntegra en acero forjado 42CrMo4 y carecer por diseño de insertos de distintos materiales, su separación en los centros de tratamiento autorizados es inmediata y directa.

La mangueta es 100% reciclable en plantas siderúrgicas, cerrando de forma perfecta y limpia el ciclo de vida circular prescrito en este Trabajo de Fin de Grado.

Presupuesto:

**Rediseño y Optimización Topológica de una
Mangueta de Automóvil mediante Ingeniería Inversa
y Criterios de Sostenibilidad**

Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos. 2025/2026

ETSIADI, Universitat Politècnica de Valencia (UPV)



Autor: Alejandro Cuartero Molina

Tutor: Andrés Conejero Rodilla

1. ÍNDICE DE CONTENIDOS DEL PRESUPUESTO

2. Introducción y Consideraciones	213
2.1. Dimensiones Generales. Vista de Conjunto	213
2.2. Bloques y Consideraciones Presupuestarias	213
3. Presupuesto de Desarrollo de la Ingeniería del Producto	214
4. Presupuesto de Fabricación Unitaria de la Mangueta Rediseñada	215
5. Presupuesto de la Maquinaria Principal	217
6. Presupuesto de Utillaje y Herramientas Requeridas	218
7. Conclusión.....	220

2. Introducción y Consideraciones

2.1. Bloques y Consideraciones Presupuestarias

El presente documento recoge la valoración económica dividida en varios bloques fundamentales:

- El coste de desarrollo de la ingeniería de producto.
- El cálculo del coste unitario de fabricación de la mangueta rediseñada para su producción en serie.
- Maquinaria y Utillajes necesarios.

Este presupuesto no contempla costes asociados a homologación industrial, validación experimental ni ensayos de durabilidad y fatiga propios del sector de la automoción.

Todos los precios, en caso de no indicarse, se expresan en euros (€).

2.2. Consideraciones Cuantificables de Producción

La generación del Ford Focus cuya mangueta está sujeta a estudio en el presente proyecto es la mk4, previa al re-styling (mk4.5). Ford no publica datos oficiales sobre la producción de sus modelos, pero se estima que la producción del Ford Focus mk4, desde el inicio de fabricación en 2018 hasta 2025 ronda los 1,5-2,5 millones de unidades.

Para el siguiente estudio presupuestario, se tomará un único año de fabricación como valor promedio de las unidades producidas. Esto es, alrededor de 286.000 unidades al año (Se toma un valor intermedio de 2 millones de unidades entre 2018 y 2025).

$$2.000.000 \text{ uds} / 7 \text{ años} = 286.000 \text{ uds/año}$$

3. Presupuesto de Desarrollo de la Ingeniería del Producto

Costes de Desarrollo e Ingeniería de Producto				
Concepto	Tipo de coste	Tiempo (h)	Tarifa	Coste (€)
Mangueta de Desguace	Material	-	-	35
Escaneado 3D y procesado de malla	Mano de obra técnica	6	20€ / h	120
Modelado CAD y rediseño	Ingeniero en Diseño	30	25€ / h	750
Cálculo y simulaciones FEA	Ingeniero CAE	15	30€ / h	450
Licencia Autodesk Fusion	Software		2300€ /año	26,55
Escáner 3D	Equipo	2	7200€/ud	3,6
Coste Total				1385,15€
Coste por unidad (Producción Anual)				0,00484€

Tabla 28 - Presupuesto de Desarrollo de la Ingeniería de Producto

El impacto del coste de Desarrollo e Ingeniería de Producto, amortizado por unidad, es de 0,00484€, un valor que resulta despreciable en producción masiva.

4. Presupuesto de Fabricación Unitaria de la Mangueta Rediseñada

Mangueta Delantera Derecha				
Materiales				
Materia Prima				
Tipo de Material		Acero 42CrMo4		
Dimensiones		(247x136x294m)m		
Peso		4.2 Kg		
Precio del Material		4,14€/Kg		
Proveedor		Stena Stål		
Subtotal 1		17,38€		
Productos Subcontratados				
Pieza	Proveedor	Cantidad	Precio Unitario	Precio
Subtotal 2				0,00€
Total Parcial 1				17,38€
Mano de Obra				
Mano de Obra Directa				
Operación	Operario	Tiempo de Mecanizado (min)	Tasa Horaria (€/h)	Precio (€)
Corte de tocho	Peón	3	10	0,50
Calentamiento	Peón	25	10	4,17
Forja Cerrada	Segunda	2	12	0,40
Recorte Rebaba	Peón	2	10	0,33
Temple	Segunda	15	12	3,00
Revenido	Segunda	15	12	3,00
Granallado	Peón	6	10	1,00
Planeado/Fresado Caras de Referencia	Primera	8	15	2,00
Taladrados Principales	Primera	12	15	3,00

Fresado de Ventanas	Primera	10	15	2,50
Mandrinado de desbaste del alojamiento del buje	Primera	15	15	3,75
Mandrinado de acabado del buje	Primera	10	15	2,50
Refrentados y taladros secundarios (orejetas, dirección, suspensión, rótulas)	Primera	18	15	4,50
Chaflanado general	Segunda	6	12	1,20
Rectificado General	Primera	12	15	3,00
Tratamiento Superficial (E-Coat)	Primera	12	15	3,00
Subtotal 1				37,85 €
Mano de Obra Subcontratada				
Operación	Operario	Tiempo de Mecanizado	Tasa Horaria	Precio
Subtotal 2				0,00 €
Total Parcial 2				37,85 €
Coste Total				
Parcial 1 + Parcial 2				55,23 €
Coste Total por Vehículo				110,46 €

Tabla 29 - Presupuesto de Fabricación Unitaria

5. Presupuesto de la Maquinaria Principal

Maquinaria Principal	
Concepto	Precio (€)
Sierra de cinta para metalurgia S 181 G OPTIMUM	3441,12
Horno tubular de alta temperatura Thermconcept ROC, 1500°C	8844,50
Prensa de Forja en Estampa Cerrada (Precio estimado)	450.000
Prensa Hidráulica de Recorte de Rebaba (Precio estimado)	12.000
Torno CNC Holzmann CD3675TOP_400V	24.056,02
Rectificadora CNC (Precio estimado)	35.000
Granalladora Cintermaq PAL 1S	4.930
Máquina de Medición por Coordenadas DEA GLOBAL IMAGE	20.000
Total Equipamiento Completo	558.271,64

Tabla 30 - Presupuesto de la Maquinaria Principal

La maquinaria indicada corresponde a equipamiento industrial amortizable a largo plazo.

6. Presupuesto de Utillaje y Herramientas Requeridas

Utillaje Principal	
Concepto	Precio (€)
Matrices de Forja	
Matriz de Forja Superior (Precio estimado)	12.000
Matriz de Forja Inferior (Precio estimado)	12.000
Recortador de Rebaba	
CoroMill® 495, cutter for chamfer milling 495-012A16-4509L	299,00
Mordazas CNC	
TORAX MORDAZA MECANICA DE PRECISION 175 X 500 X 755 MM	1.354,35
Fresas	
CoroMill® 245, fresa para planear R245-080Q32-18H	621,00
Brocas	
Broca enteriza de metal duro para acero Ø17.8 (462.1-1780-053A0-XM X2BM)	249,00
Broca enteriza de metal duro para acero Ø16: 462.1-1600-048A0-XM X2BM	188,00
Broca enteriza de metal duro para acero 462.1-1500-045A0-XM X2BM	188,00
Broca enteriza de metal duro para acero 462.1-0500-025A0-XM X2BM	63,80
Broca enteriza de metal duro para acero 462.1-1200-036A0-XM X2BM	103,00
Broca enteriza de metal duro para acero 462.1-1300-065A0-XM X2BM	124,00
Broca enteriza de metal duro para acero 462.1-1200-090A1-XM X2BM	269,00
Escariadores	
830B-E06D1800H7S12	449,00
830A-E06D2600H7S16	473,00
830B-E06D1300H7S12	449,00
830B-E06D1200H7S12	425,00
435.B-1500-A1-XF H10F	374,00
Calibres Pasa/No Pasa	
Calibre liso Pasa / No pasa H7, Ø nominal: 5mm	19,92

Calibre liso Pasa / No pasa H7, $\varnothing$ nominal: 15mm	25,32
Calibre liso Pasa / No pasa H7, $\varnothing$ nominal: 18mm	27,98
Mandrinado	
Mandril 200mm 3 Garras Hierro Fundido HT300 Auto-centrante Preciso TEKMAQUINAS	245,32
Fresas de roscado de metal 2xD para rosca métrica ISO	40,90
Control de Calidad	
Rugosímetro Digital	1.839,09
ALEXÓMETRO CON COMPARADOR, 50 a 160 mm Vogel	125,35
Calibre de profundidad 0-150mm 571-301-20 MITUTOYO	536,00
Total Equipamiento Completo	32.489,03

Tabla 31 - Presupuesto del Utillaje y Herramientas

7. Conclusión

El análisis presupuestario desarrollado permite concluir que la solución propuesta resulta técnicamente viable desde el punto de vista industrial, especialmente bajo escenarios de fabricación en serie. La estrategia adoptada, basada en mantener el material y gran parte de la infraestructura productiva original, minimiza la inversión necesaria en procesos de adaptación industrial y favorece la integración del componente rediseñado en cadenas de fabricación existentes. Asimismo, el coste unitario obtenido se mantiene dentro de rangos coherentes para componentes estructurales de automoción sometidos a procesos de forja y mecanizado CNC.

Planimetría:

**Rediseño y Optimización Topológica de una
Mangueta de Automóvil mediante Ingeniería Inversa
y Criterios de Sostenibilidad**

Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos. 2025/2026

ETSIADI, Universitat Politècnica de Valencia (UPV)

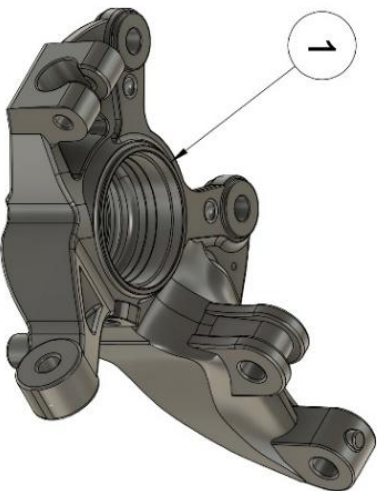
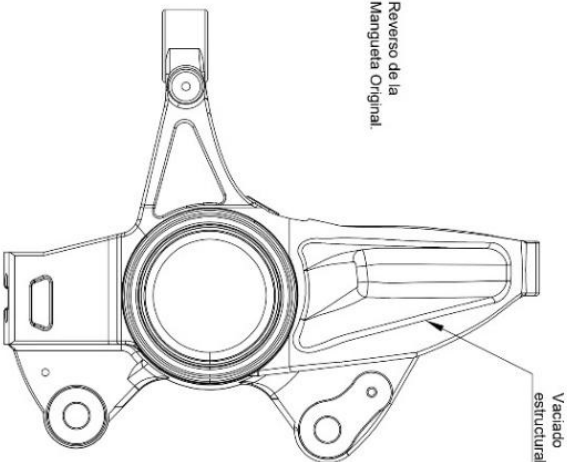
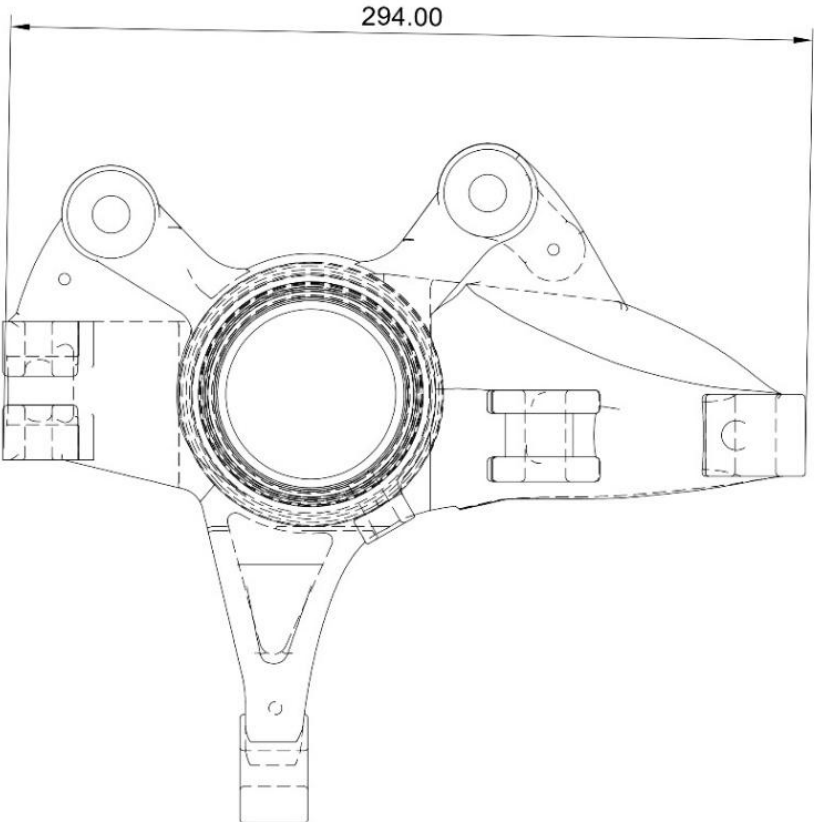
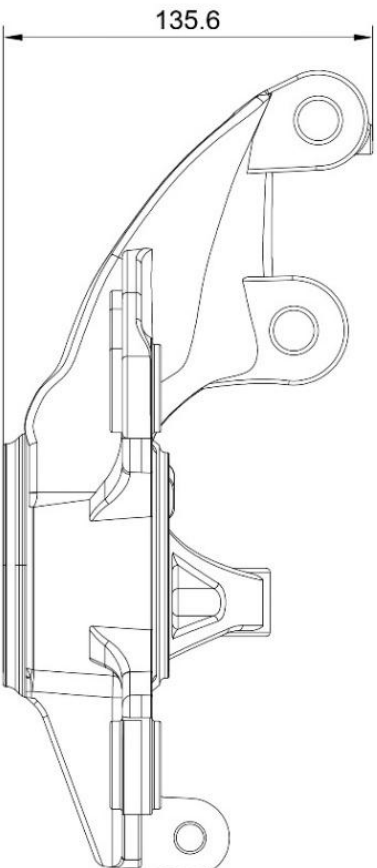
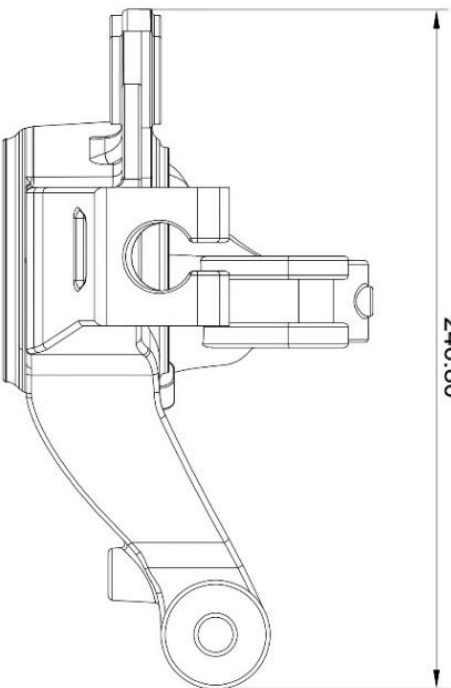


Autor: Alejandro Cuartero Molina

Tutor: Andrés Conejero Rodilla

1. Índice de Contenidos de la Planimetría

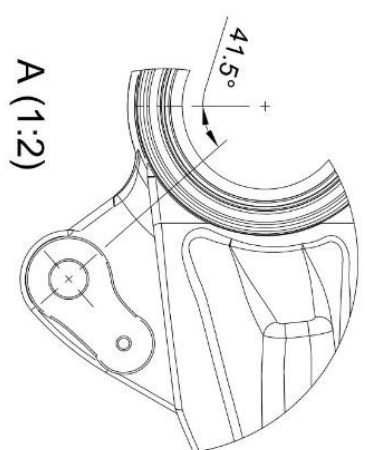
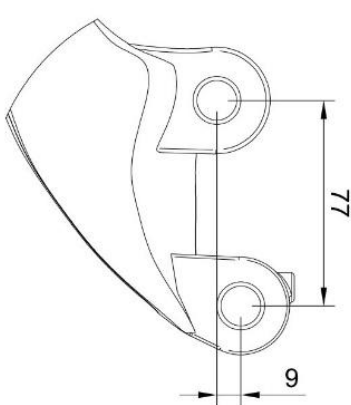
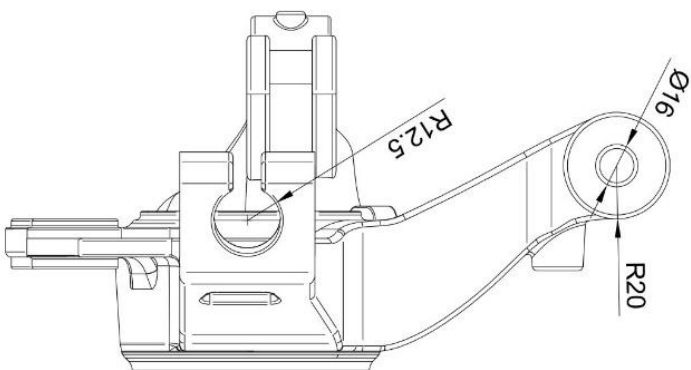
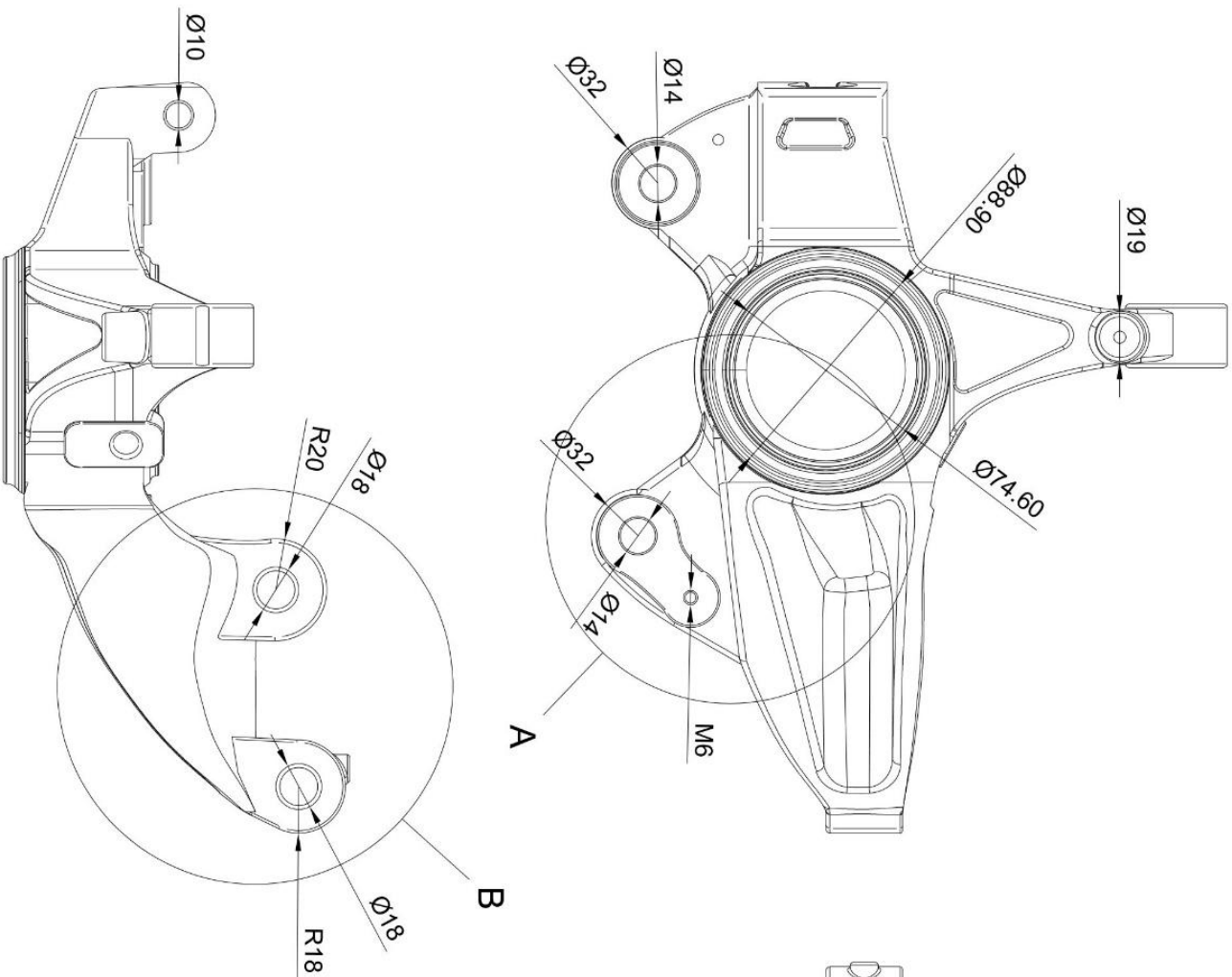
2. Planos de la Mangueta Original	223
2.1. Dimensiones Generales. Vista de Conjunto	223
2.2. Restricciones Geométricas	224
3. Planos de la Mangueta Rediseñada	225
3.1. Dimensiones Generales. Vista de Conjunto	225
3.2. Restricciones Geométricas	226
3.3. Vista del Alojamiento del Rodamiento del Buje	227
3.4. Vista de los Alojamientos de la Pinza de Freno	228
3.5. Vista de la Rótula Inferior.....	229
3.6. Vista del Brazo de Suspensión	230
3.7. Vista del Brazo de Dirección.....	231
3.8. Vista del alojamiento del Sensor ABS	232
3.9. Vista de los Vaciados Estructurales.....	233



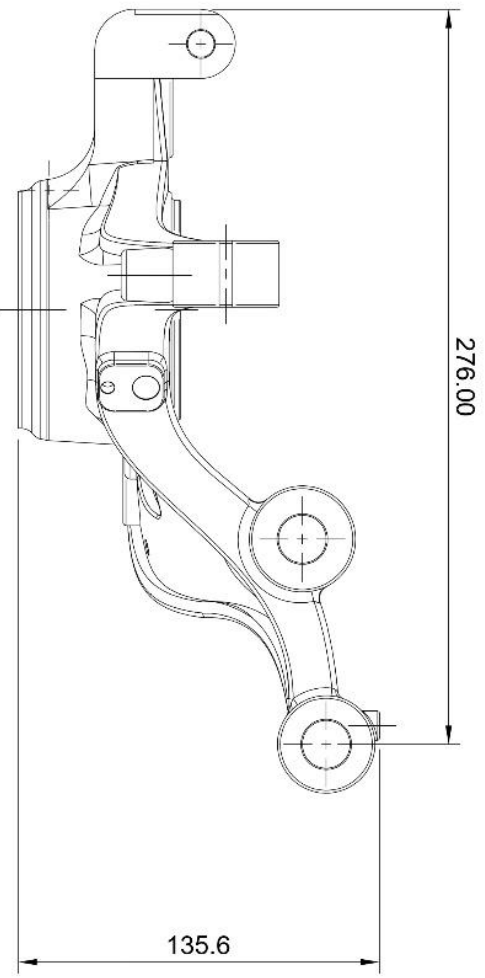
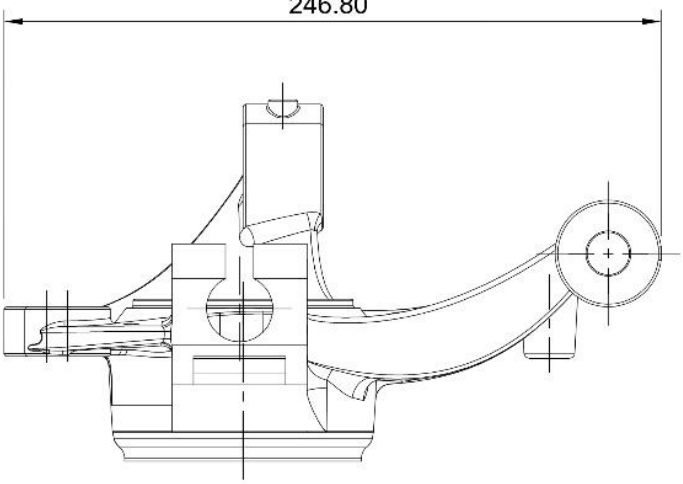
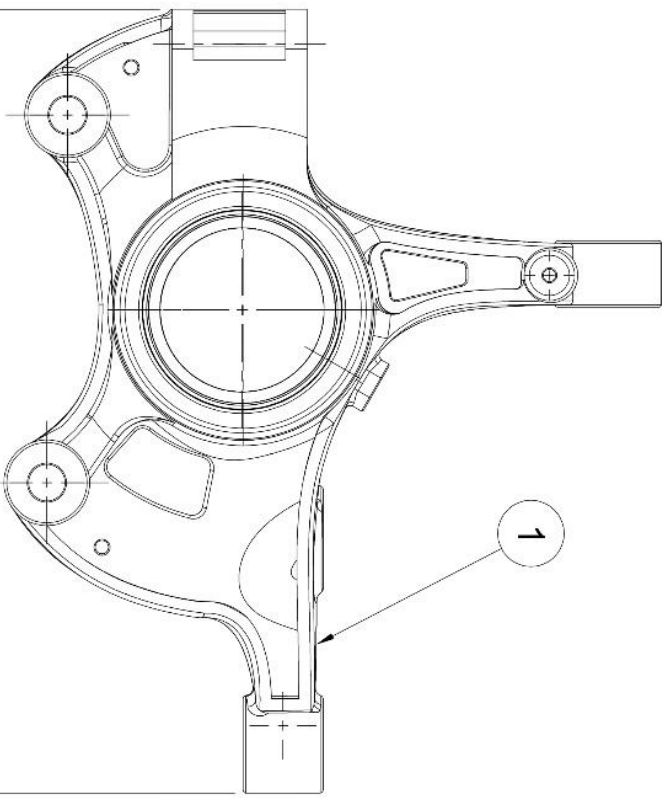
Vista en Perspectiva.
Mangueta Original.

Lista de piezas			
Elemento	Cantidad	Material	
1	1	Acero	

Dept.		Technical reference		Created by		Approved by	
				Alejandro Cuartero 24/05/2026			
		Document type		Title		Document status	
				Mangueta Original		FINAL	
				Dimensiones Generales		DWG No.	
						Rev.	
						Date of issue	
						TFG-MO-1	
						Sheet	
						1/2	



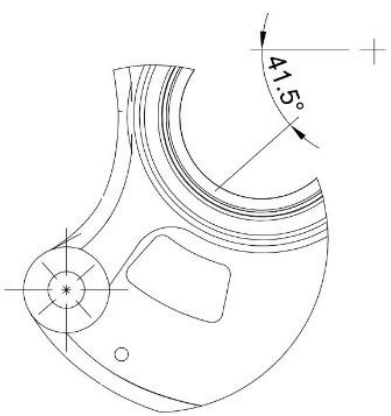
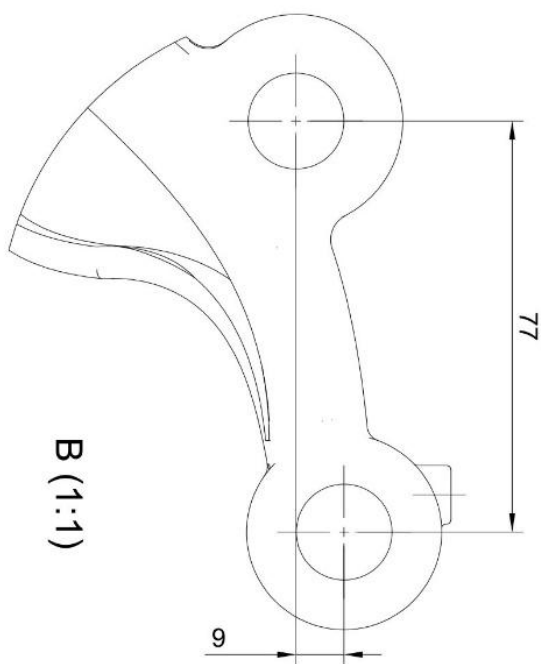
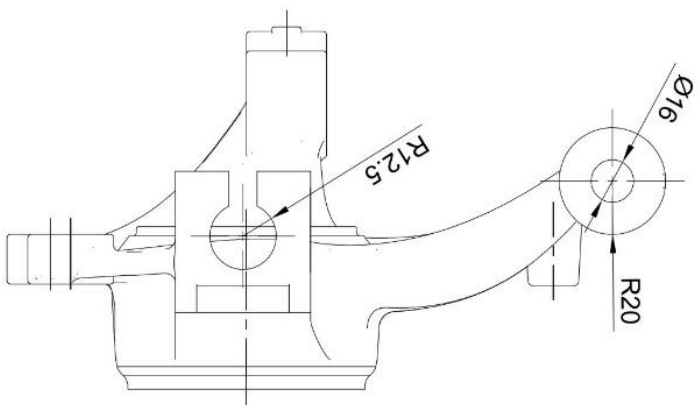
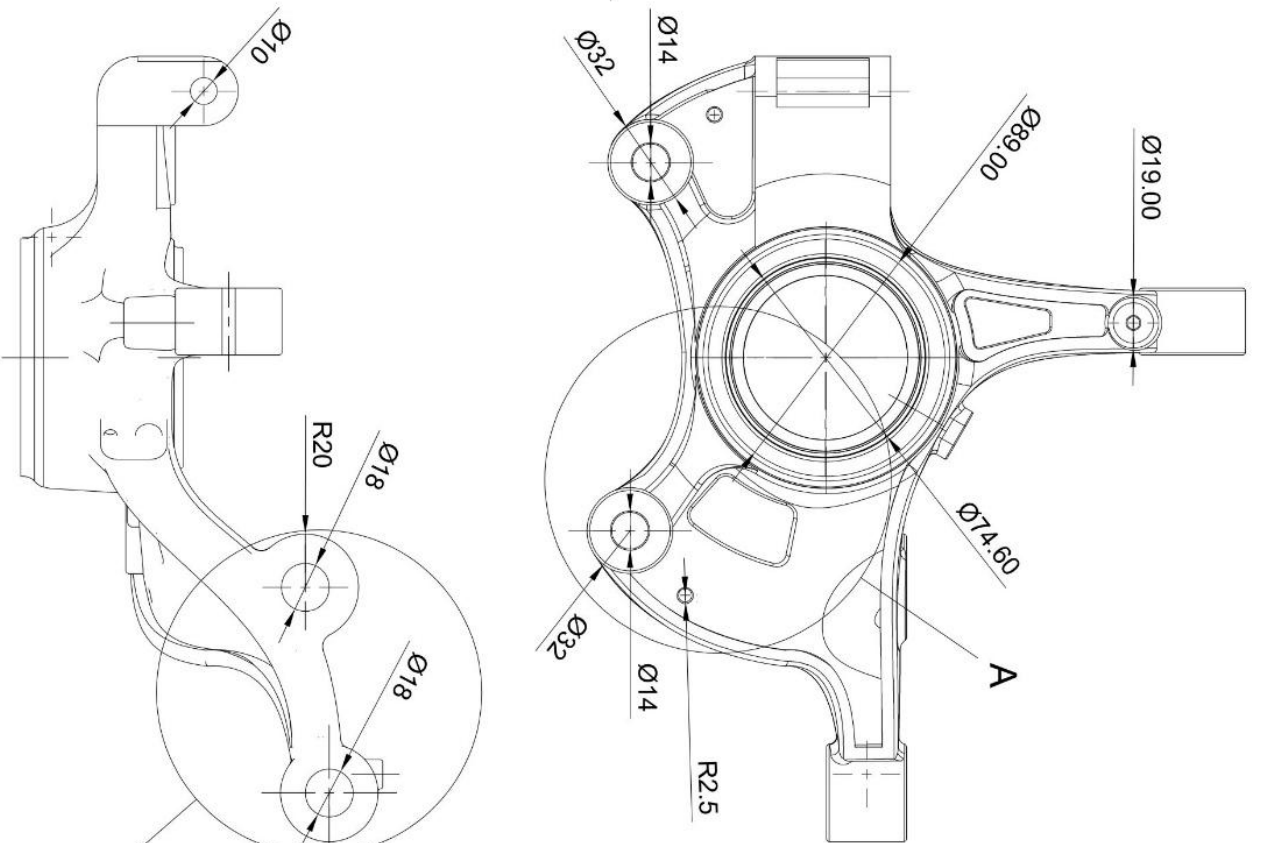
Dept.		Technical reference	
Created by		Approved by	
Alejandro Cuartero 24/05/2026		Document status	
Document type		FINAL	
Title		DWG No.	
Mangueta Original		TFG-MO-2	
Restricciones Geométricas		Date of issue	
Rev.		Sheet	
2/2		2/2	



1	1	Acero
Elemento		
Cantidad		
Material		
Componentes del Conjunto		

Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		Alejandro Cuartero 23/05/2026	
		Document type	Document status
		Final	

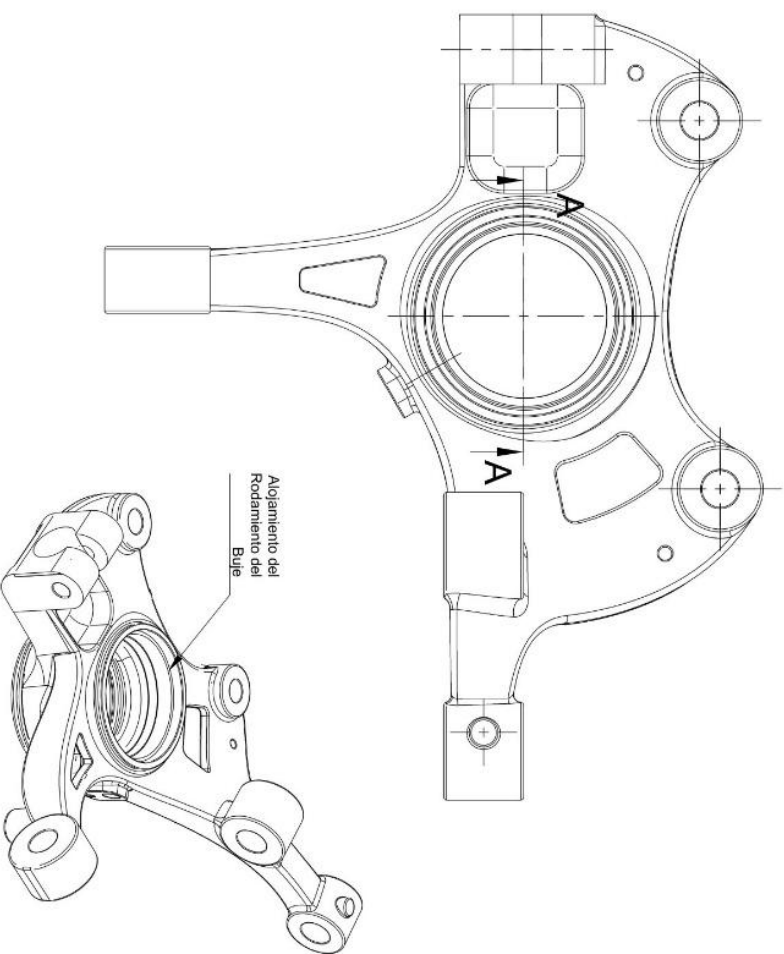
Title		DWG No.	
Vista de Conjunto		TFG-MR-1	
Dimensiones Generales		Rev.	Sheet
		Date of issue	1/9



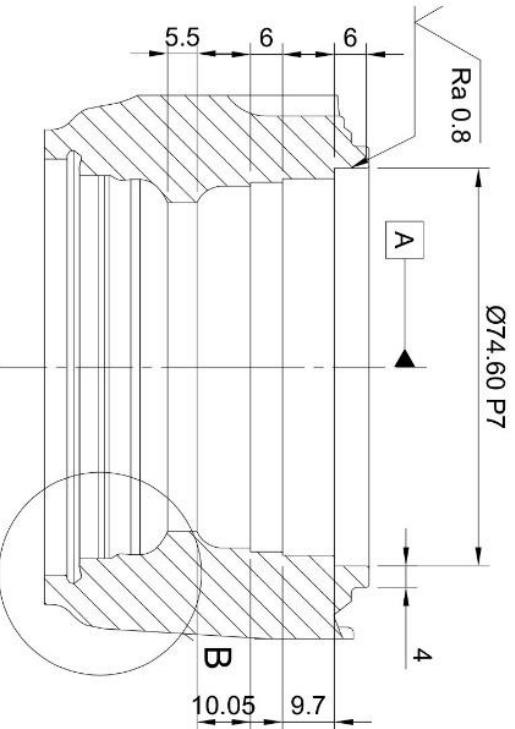
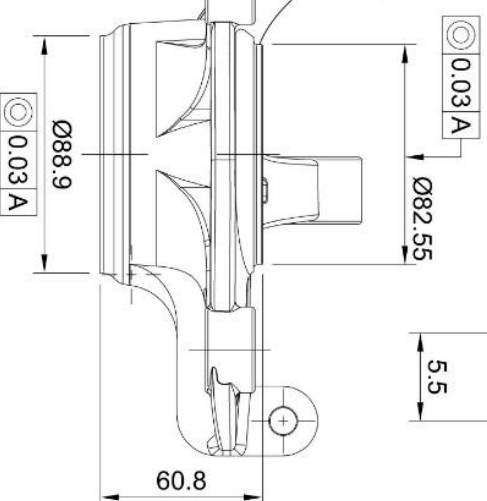
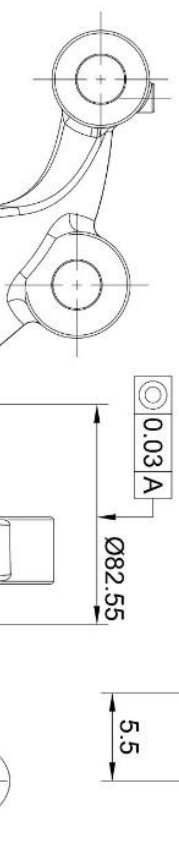
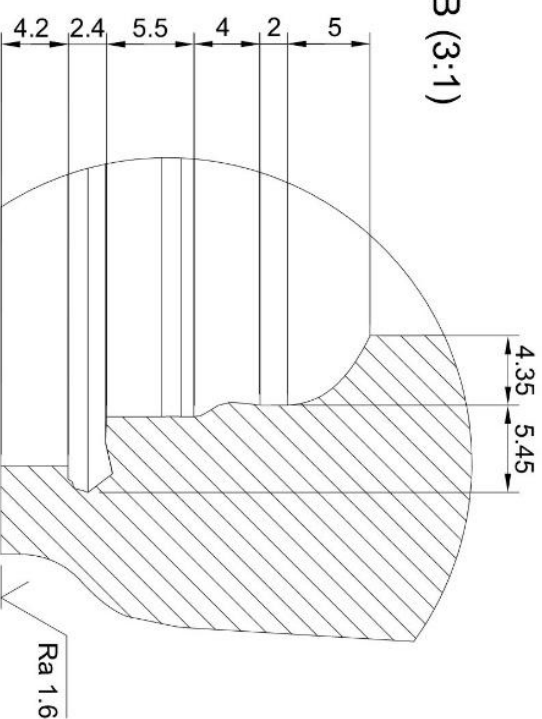
A (1:2)

B (1:1)

Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		Alejandro Cuartero 23/05/2026	
		Document type	Document status
		FINAL	FINAL
		Title	DWG No.
		Rediseño Mangueta	
		Dimensiones Generales	
		TFG-MR-2	
Rev.	Date of issue	Sheet	
		2/9	

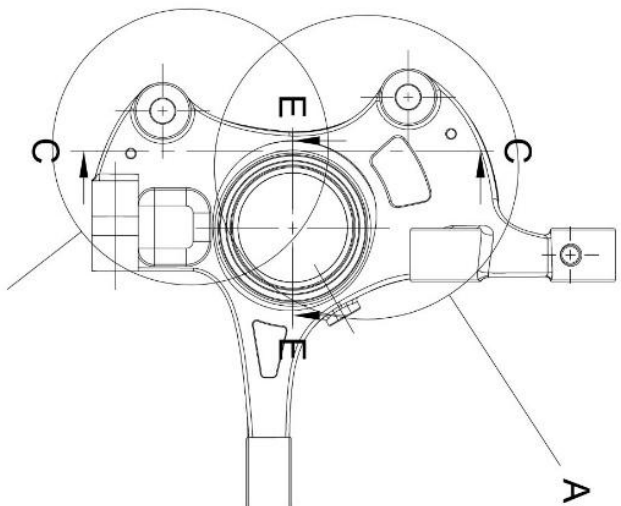


B (3:1)

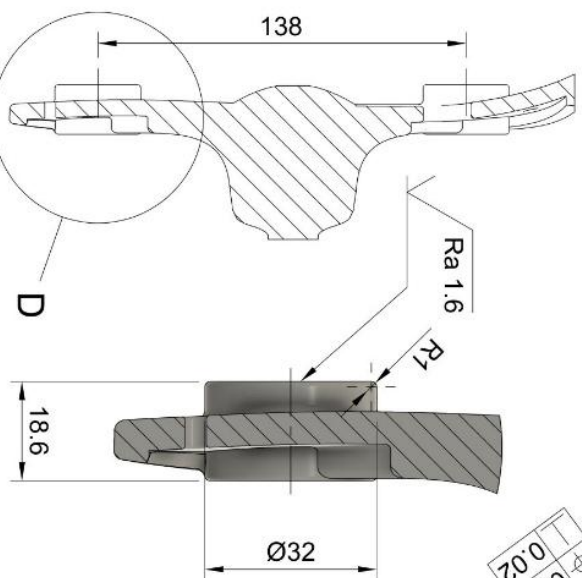


A-A (1:1)

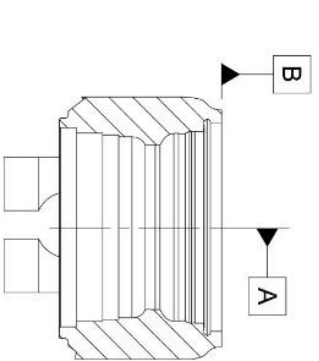
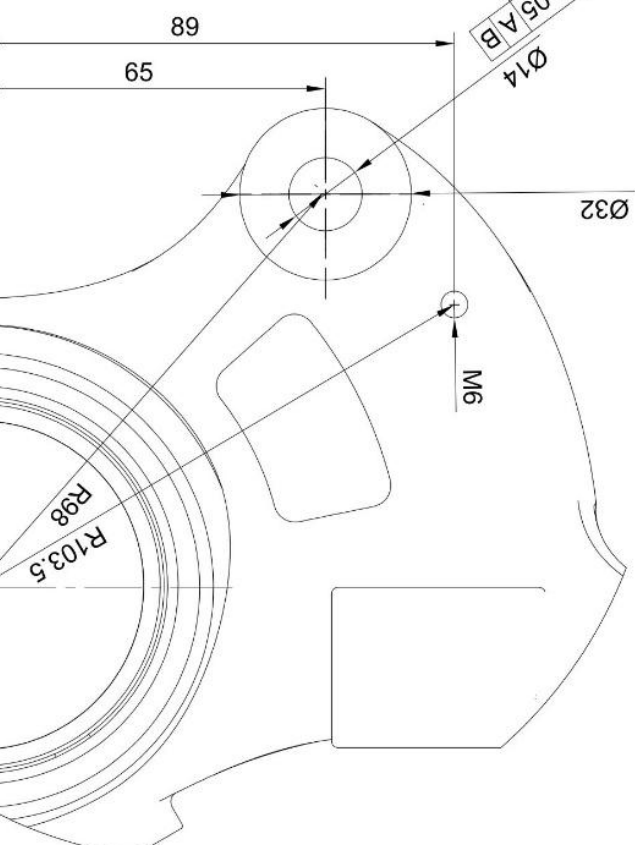
Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		Alejandro Cuartero 24/05/2026	
	Document type	Document status	
	FINAL	FINAL	
Title	DWG No.		
Mangueta Rediseño Alojamiento del Rodamiento del Bujie			
Rev.	Date of issue	TFG-MR-3	Sheet
			3/9



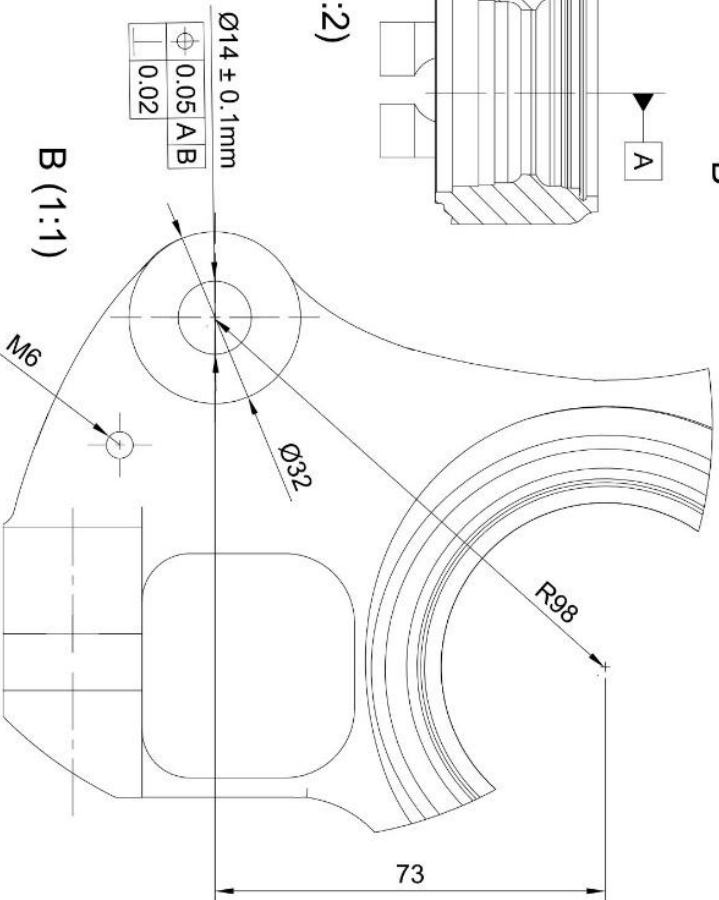
C-C (1:2)



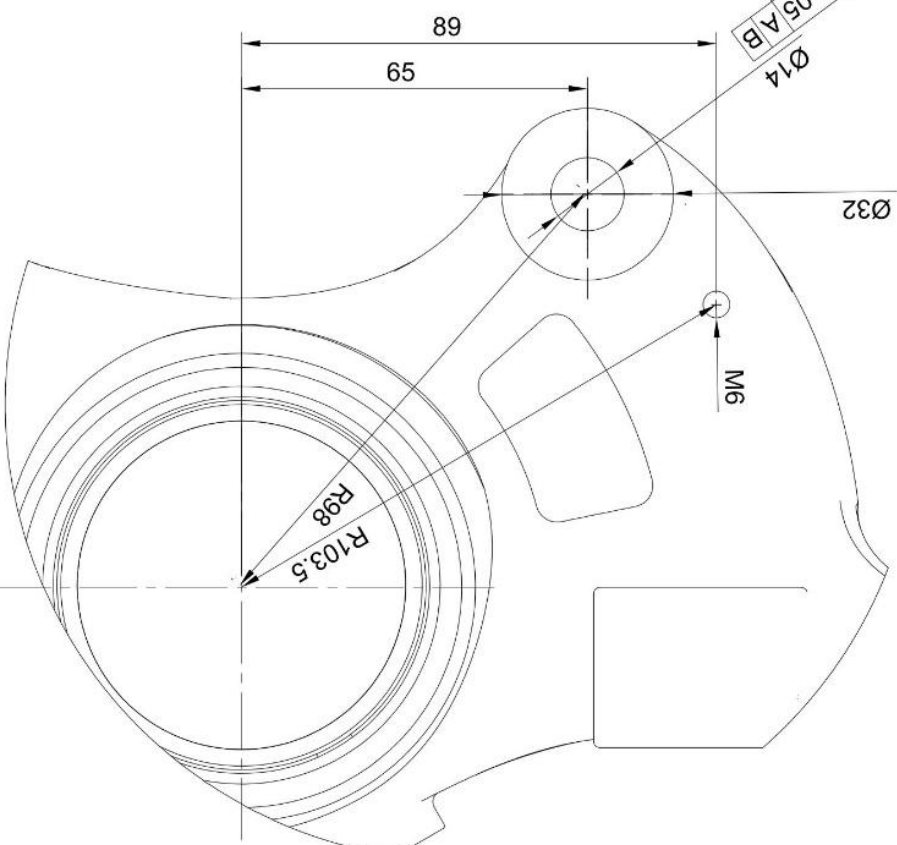
D (1:1)



E-E (1:2)



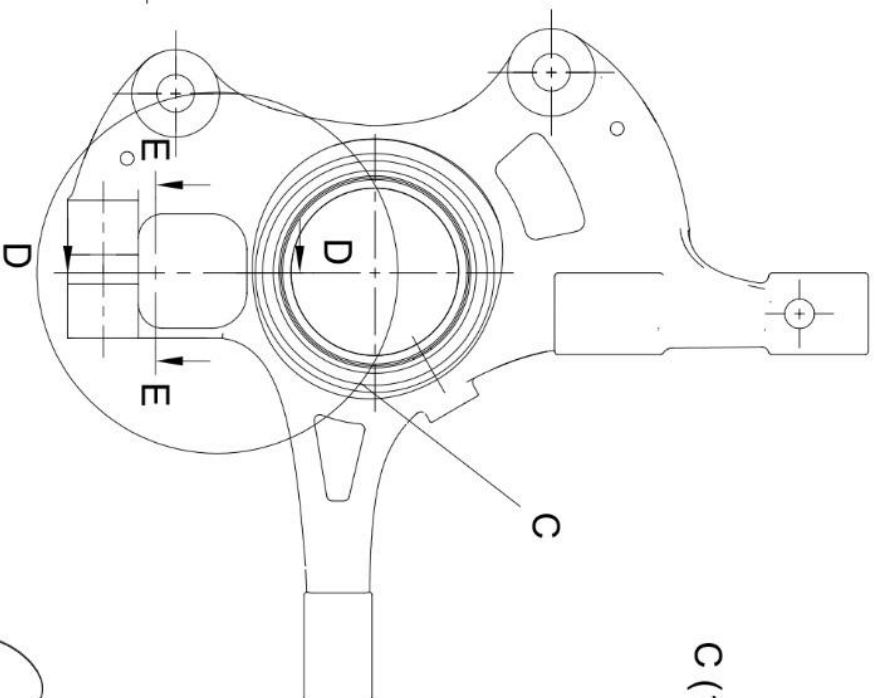
A (1:1)



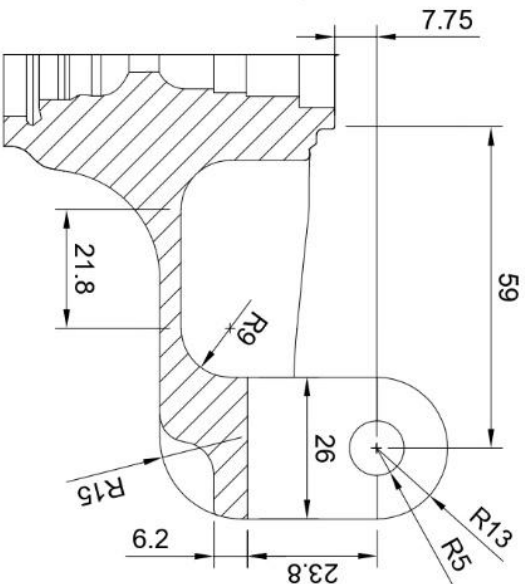
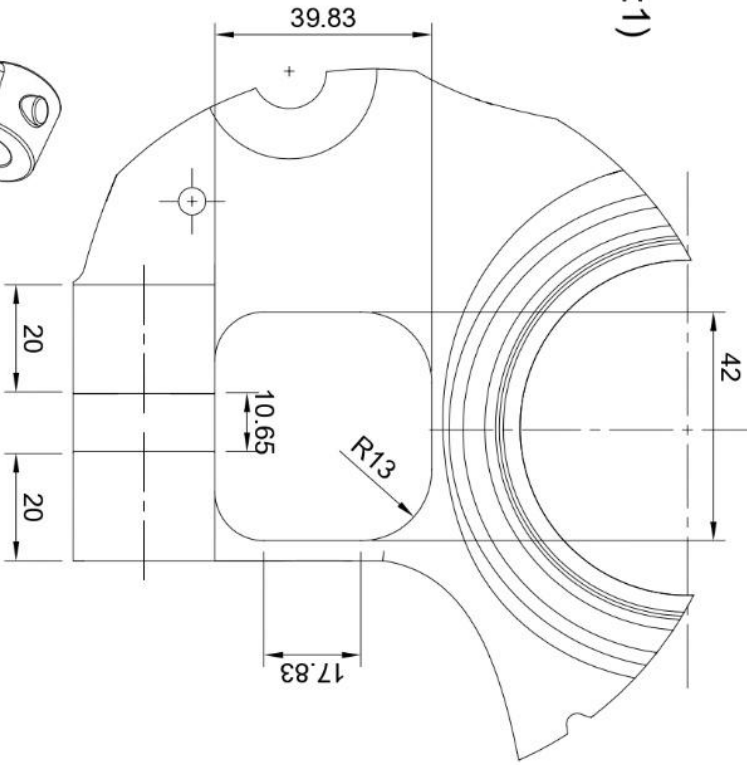
$\varnothing 14 \pm 0.1 \text{ mm}$
0.05 A B
0.02

$\varnothing 14$
0.05 A B
0.02

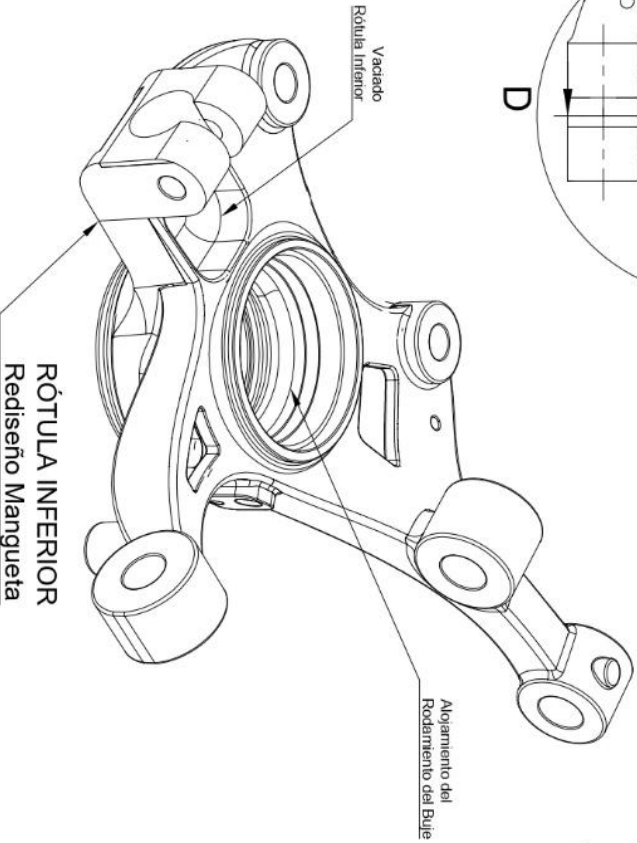
Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		Alejandro Cuartero 24/05/2026	
Title	Document type	Document status	DWG No.
Rediseño Mangueta	FINAL		
Alojamiento Pinzas de Freno			
Rev.	Date of issue	TFG-MR-4	Sheet
			4/9



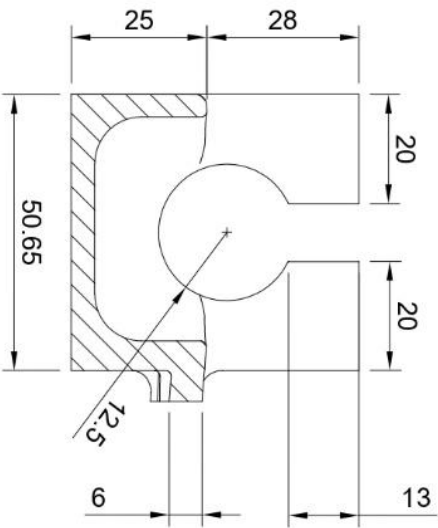
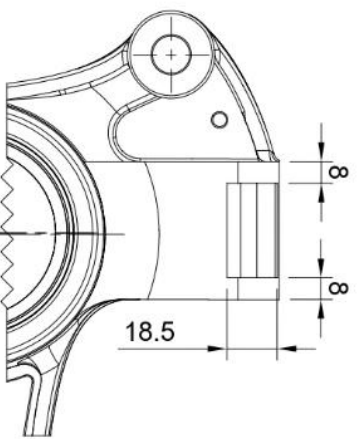
C (1:1)



D-D (1:1)

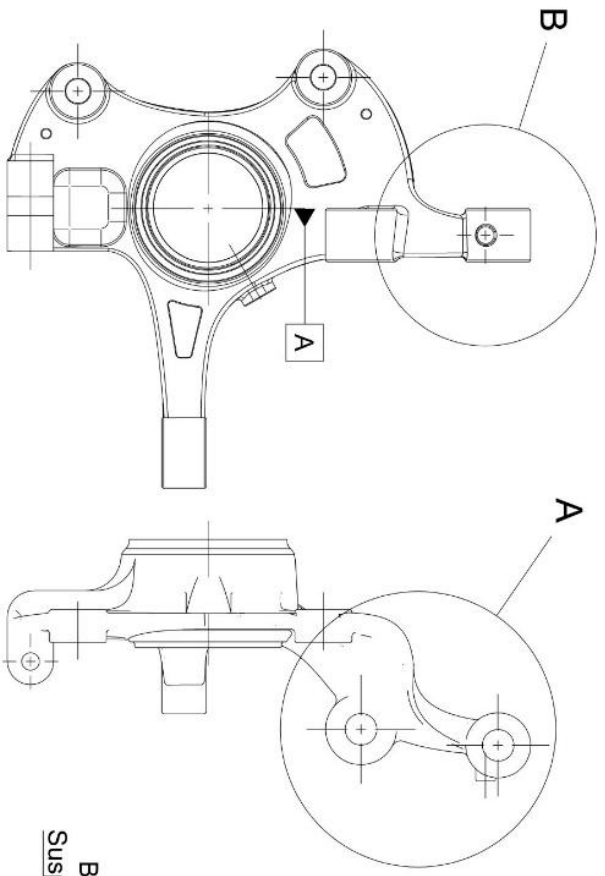


RÓTULA INFERIOR
Rediseño Mangueta

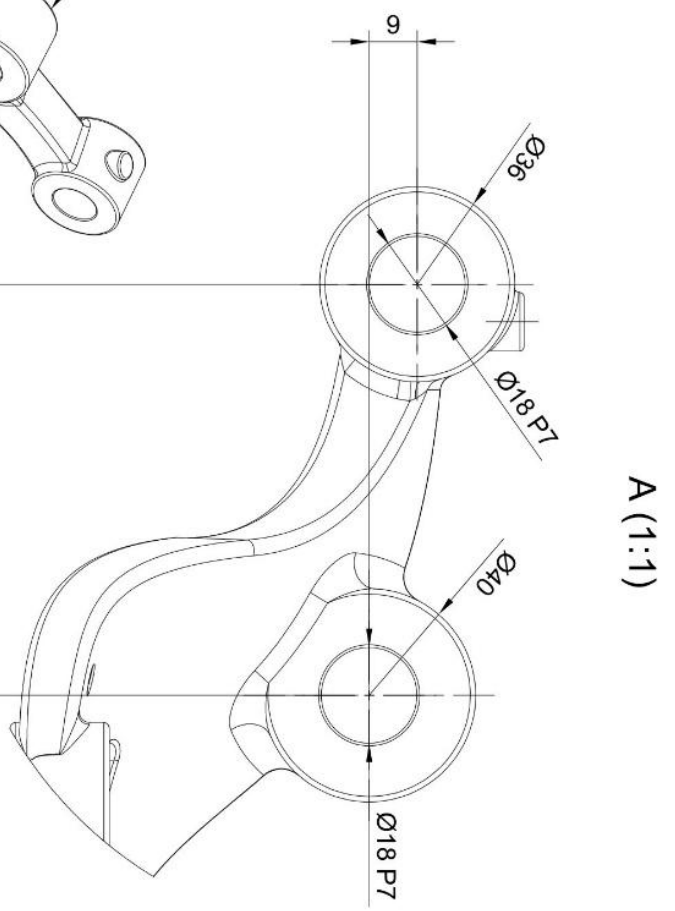
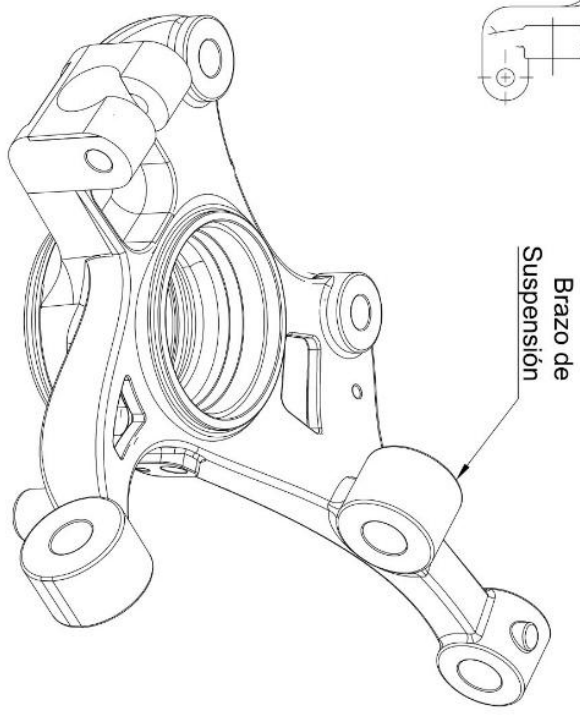
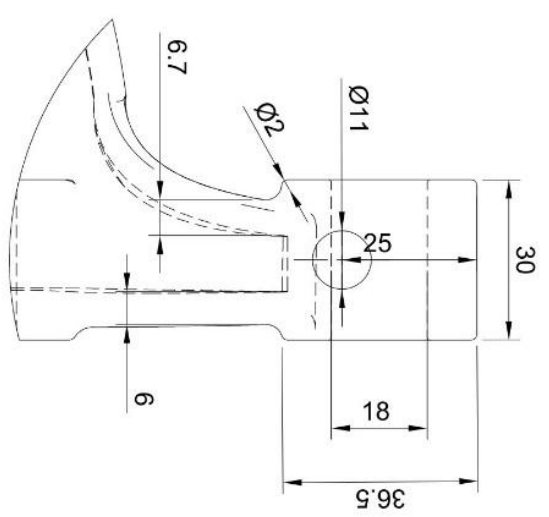


E-E (1:1)

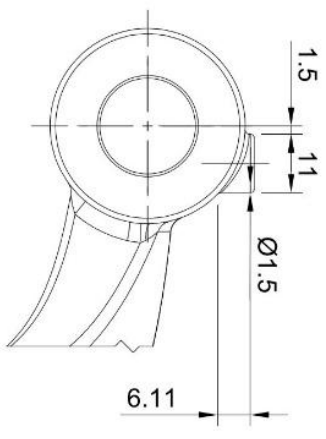
Dept.		Technical reference	
Created by		Alejandro Cuartero 24/05/2026	
Document type		FINAL	
Title		Rediseño Mangueta	
DWG No.		TFG-MR-5	
Rev.	Date of Issue	Sheet	
		5/9	



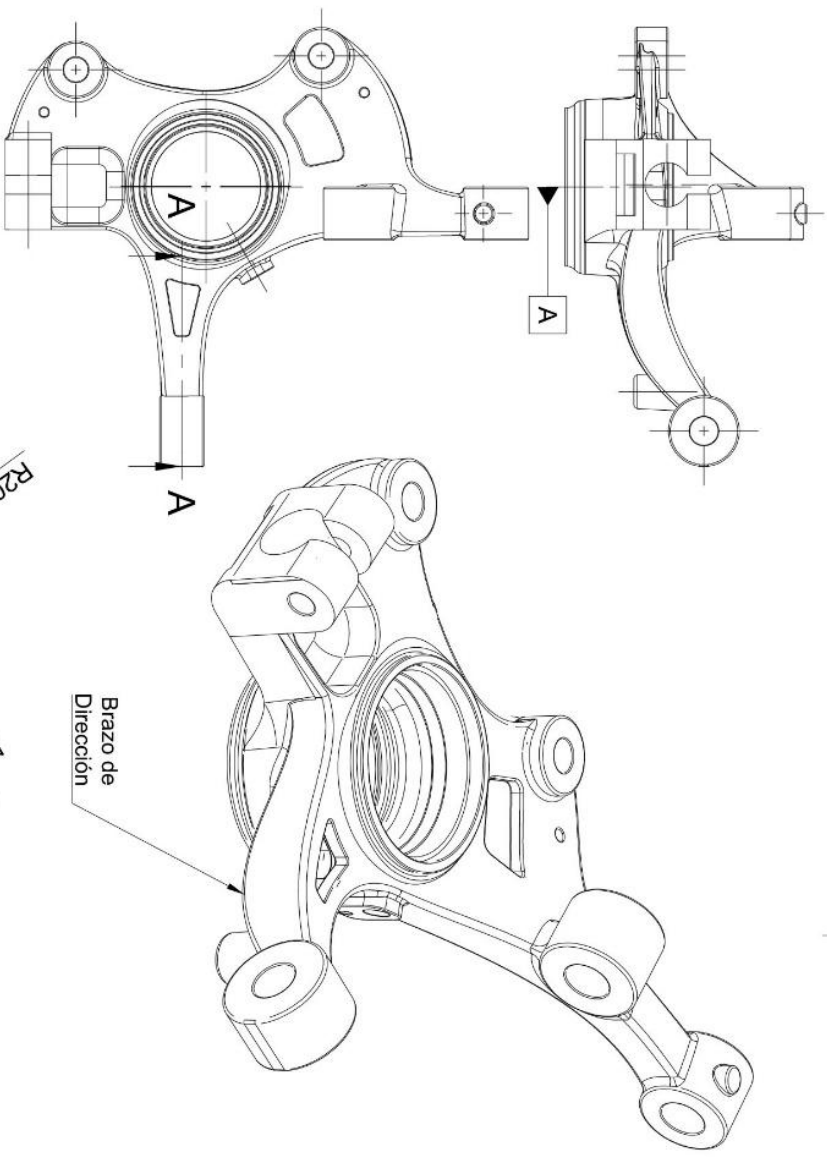
B (1:1)



A (1:1)

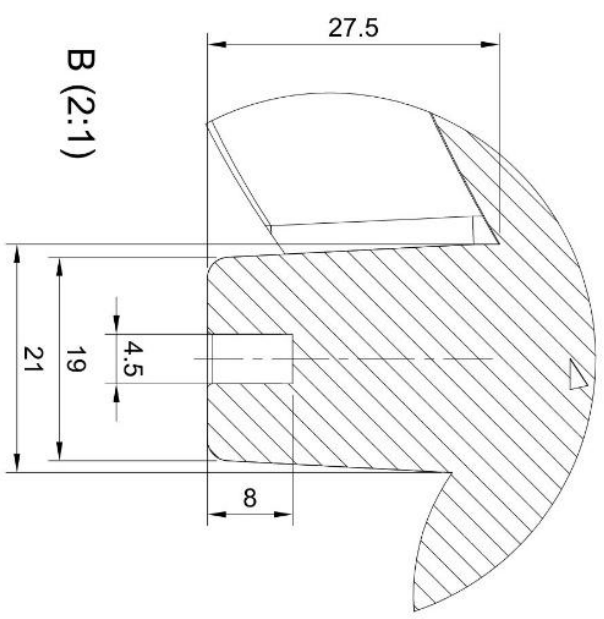
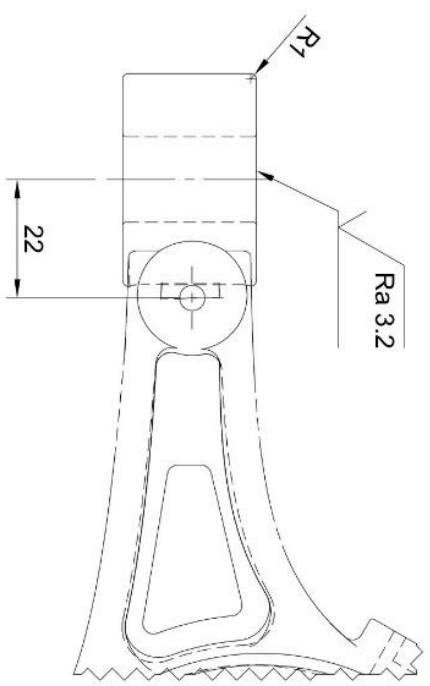
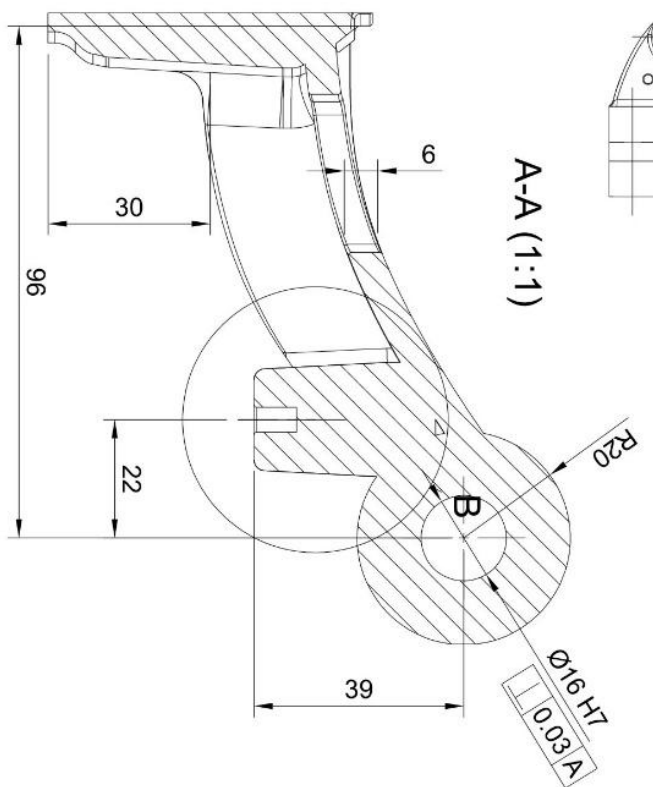


Dept.		Technical reference	
		Created by	Approved by
		Alejandro Cuatrecasas Molina 24/05/2026	
		Document type	Document status
		FINAL	
		DWG No.	
		Rev.	Date of issue
		TFG-MR-6	
		Sheet	
		6/9	



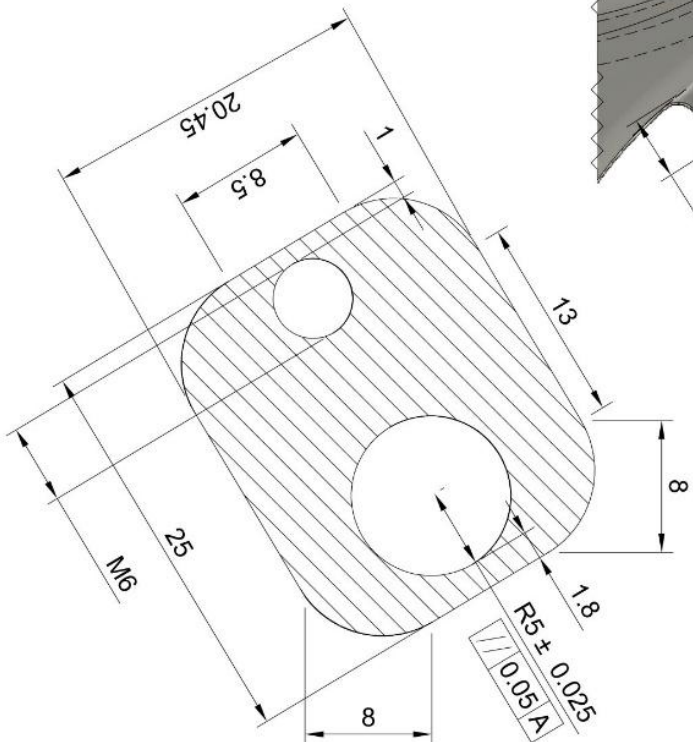
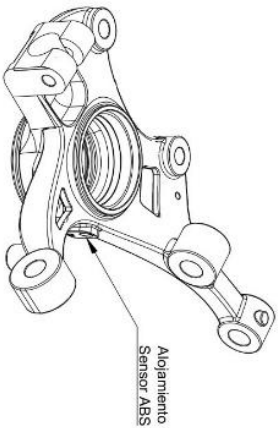
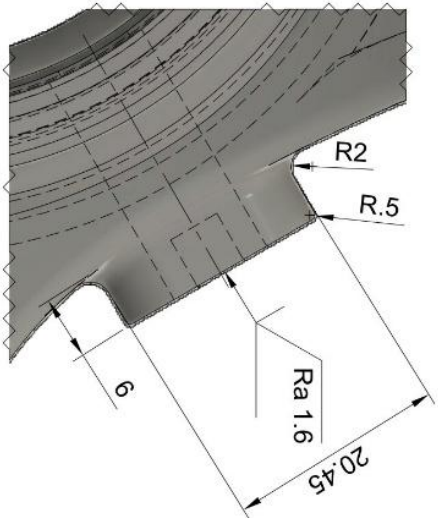
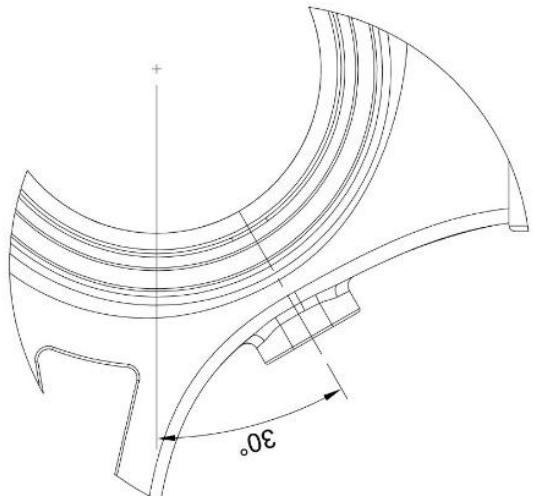
Brazo de
Dirección

A-A (1:1)

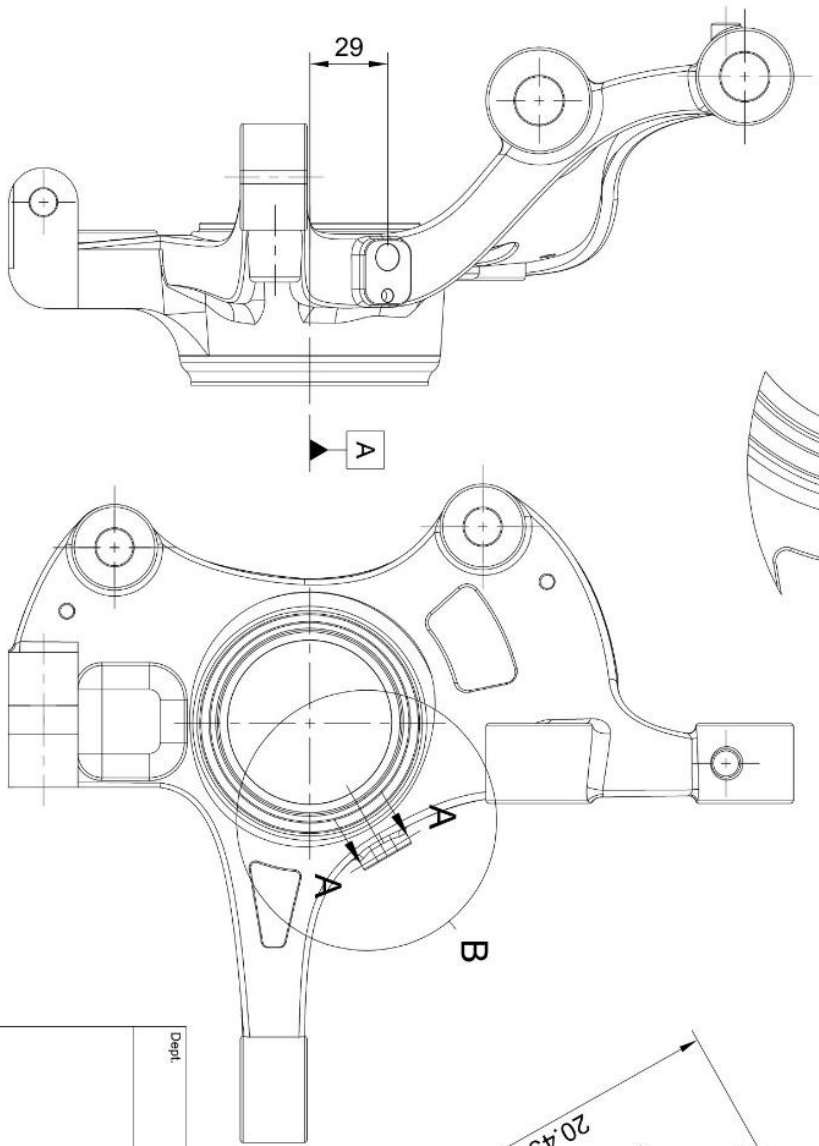


Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		Alejandro Cuartero 24/05/2026	
Title	Document type	Document status	DWG No.
Rediseño Mangueta	FINAL	FINAL	
Brazo de Dirección			
Rev.	Date of issue	TFG-MR-7	Sheet
			7/9

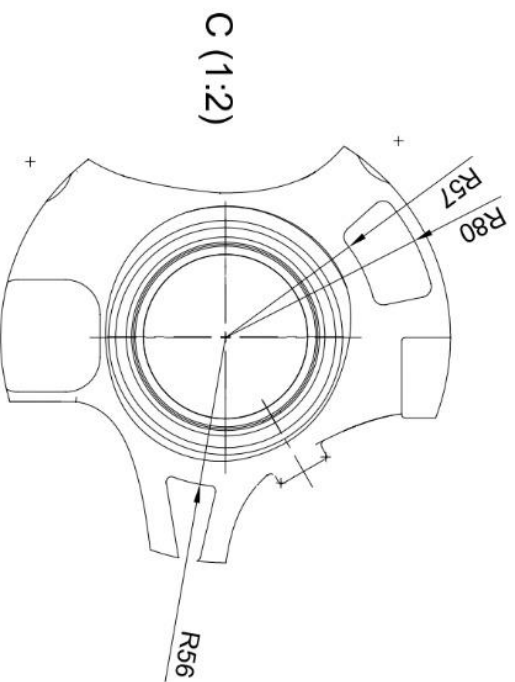
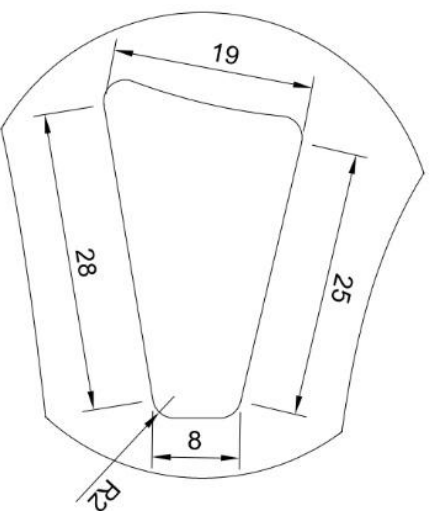
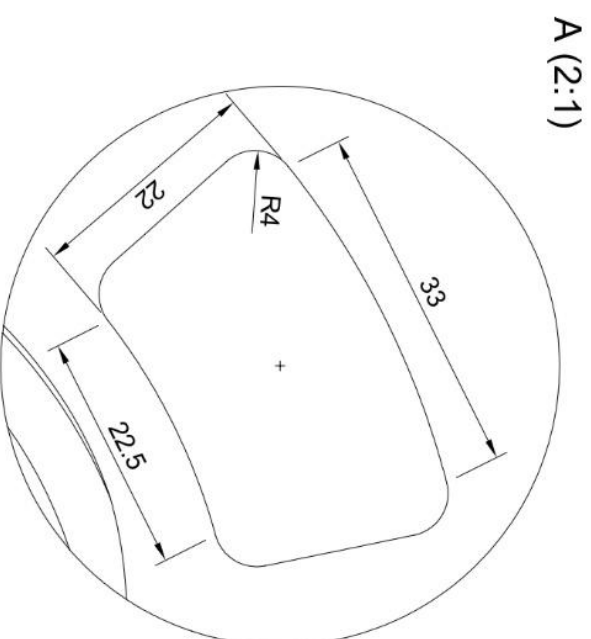
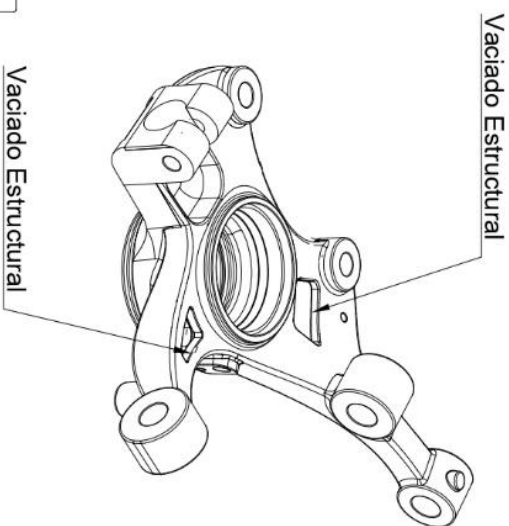
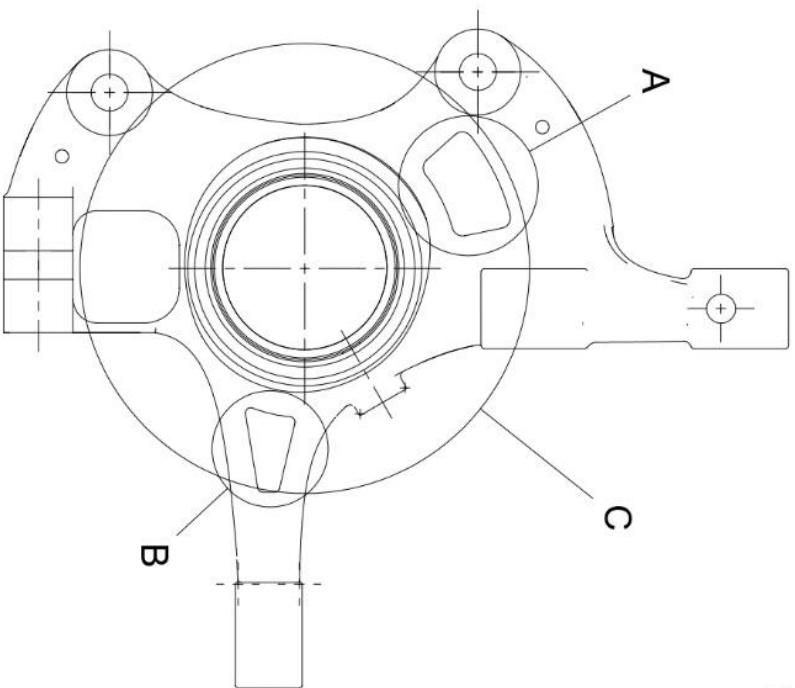
B (1:1)



A-A (3:1)



Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		Alejandro Cuartero 24/05/2026	
		Document type	Document status
		FINAL	FINAL
		DWG No.	
		Rediseño Mangueta	TFG-MR-8
		Alojamiento del Sensor ABS	
Rev.	Date of issue	Sheet	
		8/9	



Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		Alejandro Cuartero 23/05/2026	
	Document type	Document status	
	FINAL	FINAL	
	DWG No.	TFG-MR-9	
	Rev.	Date of issue	Sheet
			9/9

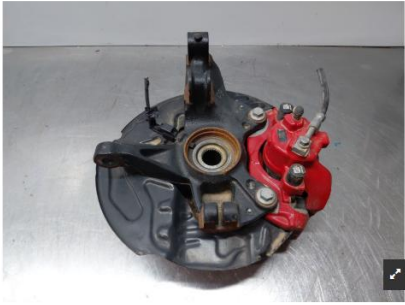
ANEJOS

ANEJO A: Desarrollo de Ingeniería Inversa	234
ANEJO B: Materiales, Herramientas y Utillaje	236
ANEJO C: Normativa y Aspectos Legales.....	250
ANEJO D: Sostenibilidad.....	261

ANEJO A: Desarrollo de Ingeniería Inversa

A.1. Mangueta Delantera Ford Focus Active

[Inicio](#)
[Bajas y Tasaciones](#)
[Vehículos en Campa](#)
[Recambios](#)
[Pago TPV](#)
[Contacto](#)








MANGUETA DELANTERA IZQUIERDA 2194091



FORD FOCUS ACTIVE

Observaciones:
Recambio de mangueta delantera izquierda para ford focus active referencia OEM IAM 2194091

Código interno: 933624

Fecha disponible: 2026-04-01

36,30 € IVA inc.
36,30 € IVA inc.

[Añadir a la cesta](#)
[¿Necesitas ayuda? Habla con nosotros](#)

Vehículo de origen



[Consultar vehículo de origen](#)



Características del vehículo

OEM:	2194091
Año fabricación	2020
Código motor	R0DB
Bastidor	WFONXXGCHNNR16893
Color	ROJO
Combustible	GASOLINA
Versión	Active
Potencia	125CV 92KW
Modelo	FOCUS

A.2. Licencia Autodesk Fusion

[Descripción general](#)
[Funciones](#)
[Planes](#)
[Extensiones](#)
[Contacto con el departamento de ventas](#)

[Descargar prueba gratuita](#)
[Ver los precios de Fusion](#)

LA BASE PARA EL DESARROLLO DE PRODUCTOS MODERNOS

Autodesk Fusion

Pruebe Fusion gratis durante 30 días

Elementos esenciales integrados de CAD, CAM, CAE, PCB y PDM para el diseño y la colaboración en una única área de trabajo unificada.

Incluye lo siguiente:

- CAD/CAM totalmente integrados
- Colaboración en equipo en tiempo real
- Diseño de PCB + integración electromecánica
- Automatización de dibujos y configuración de diseños

Ideal para: equipos y creadores en las fases iniciales del proceso

714 €/ano (60 €/mes, facturado anualmente)

[AÑADIR AUTODESK FUSION AL CARRITO](#)

LA MFG INTEGRADA. SOLUCIÓN PARA TALLERES PROFESIONALES Y EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

Autodesk Fusion for Manufacturing

Ideal para equipos que desean ir más allá de las herramientas CAM independientes; unifique la automatización CAM avanzada, el mecanizado de alta precisión y las eficaces herramientas CAD en un único entorno.

Los equipos dejan de utilizar las pilas de CAD/CAM existentes por los siguientes motivos:

- Sin pérdida de funciones, modelos defectuosos ni tareas de rectificación durante el proceso de entrega de CAD -> CAM
- Sin necesidad de pagar por varias licencias costosas para obtener un solo flujo de trabajo
- Una única fuente de información veraz para todo el trabajo del taller gracias a la colaboración en la nube

Incluye todas las funciones de Fusion, además de características avanzadas de fabricación, como se indica a continuación:

- De 2D a mecanizado simultáneo de 5 ejes para lograr una precisión de calidad industrial
- Rutas de herramientas inteligentes para fresado, torneado y torno-fresa
- Programación CAM automatizada para reducir los tiempos de preparación y de ciclo
- Inspección de piezas en proceso + sondeo
- Postprocesadores gratuitos y totalmente editables
- CAD + CAM integrados para eliminar las tareas de rectificación y la conversión de datos
- Flujos de trabajo escalables desde la creación de prototipos hasta la producción

2.142 €/ano

Descubra por qué usar Autodesk Fusion for Manufacturing (vídeo de 1:25)

[Comprar](#)

LA PLATAFORMA COMPLETA DE DISEÑO Y DATOS PARA EQUIPOS DE INGENIERÍA LISTOS PARA MODERNIZARSE

Autodesk Fusion for Design

Ideal para equipos que necesitan precisión de nivel empresarial, rigor en los datos y continuidad desde el diseño hasta la fabricación sin la complejidad de los sistemas existentes.

Los equipos dejan de utilizar las herramientas y los complementos existentes por los siguientes motivos:

- Toma de decisiones más rápida con colaboración en tiempo real y datos en la nube
- Sin conflictos de versiones, referencias interrumpidas ni problemas de sincronización de archivos
- Reducción del coste total del diseño, la gestión de datos y la fabricación con una única plataforma

Incluye todas las funciones de Fusion, además de características avanzadas de diseño, como se indica a continuación:

- 11 estudios de simulación avanzados para una validación inicial y continua
- Diseño generativo para innovación ligera y de alto rendimiento
- Herramientas avanzadas de superficies y mallas para geometrías complejas
- Herramientas de plástico, chapa y DFM para un diseño orientado a la facilidad de fabricación
- Gestión de datos integrada y PLM para respaldar el rigor empresarial y la cadena de suministro

2.299 €/ano

Descubra por qué utilizar Fusion for Design (vídeo de 1:47)

[Comprar](#)

ANEJO B: Materiales, Herramientas y Utillaje

B.1. Proveedor de Acero: Stena Stål

HITTA PRODUKTER

ANSÖK OM KORT

Logga in

HITTA PRODUKTER - 10 SEGHÄRDNINGSSTÅL 42CRM04

301184

10 Seghärtningsstål 42CrMo4

LISTPRIS: 45,00 sek/kg (exkl. moms)

VIKT / ENHET: 80 kg/m³

TEKNISKA DETALJER

STÅLSORT: 42CRM04 / L7225

CERTIFIKAT: 3.1

KISELHALT: MIXED

UTFÖRANDE YTA: SVART

PRODUKTIONSMETOD: VARMSVALSAD

GLOBAL WARMING POTENTIAL (A1-1910 kg co2-eq./ton A3)

GLOBAL WARMING POTENTIAL (A4)32.5 kg co2-eq./ton

DIMENSIONER

DOKUMENT

LOGGA IN

eller

ANSÖK OM KORT

LOGGA IN ELLER ANSÖK OM KORT I WEBBORDER REDAN IDAG

B.2. Escáner 3D



Servicio Técnico Oficial

Inicio

Impresoras

Escáner

Materiales

Accesorios

Impresión 3D

Quiénes somos

Tienda

Q

Inicio / Escáner / EinScan Pro HD-Shining 3D

Impresoras

UltiMaker

Formlabs

Crealty

Bambu Lab

Piezas de repuesto

Complementos

Servicio Post-Venta

Software empresarial UltiMaker

Software UltiMaker Cura

Escáner

Termoformadora

Materiales

3DPrintfilam

UltiMaker Filament

BASF FLOWRAD AM

Kinaya

SmartMaterials3d

Sakata 3D

Kit Metal UltiMaker

Formlabs Resinas

Polymaker

Adhesivos

PRODUCTOS MEJOR VALORADOS

Filamento PLA Ingeo 3D850 Red 2,85m 1Kg 3DPrintfilam

20,95€ IVA no incluido

Filamento PLA Ingeo 3D850 White 2,85m 1Kg 3DPrintfilam

20,95€ IVA no incluido

Filamento PLA Ingeo 3D850 Blue 2,85m 1Kg 3DPrintfilam

20,95€ IVA no incluido



EinScan Pro HD-Shining 3D

7,199.00€ IVA no incluido

Referencia: 1000218

Escáner 3D de mano de alta definición, con grandes prestaciones de resolución y velocidad, tanto en modo manual como fijo. Capacidad mejorada para escanear superficies oscuras y reflectantes.

-

1

+

Añadir al carrito

Descripción

Valoraciones (0)

Descripción

EinScan Pro HD es el nuevo escáner 3D de mano de Shining 3D, con importantes mejoras respecto a sus modelos precedentes, principalmente en velocidad y precisión. Entre sus características más destacadas están las siguientes:

B.3. Sierra de cinta para metalurgia

Pon tu casa en modo vacaciones. ¡Ofertas hasta -25%! Compra online, en tiendas o 910 49 99 99 [Ver ofertas](#)

¿Qué estás buscando?

ios Proyectos A medida Inspiración **Ofertas y folletos** Ahorra energía

[Home](#) > [Productos](#) > [Herramientas](#) > [Herramientas para el taller](#) > [Sierras de cinta](#) > Sierra de cinta para metalurgia S 181 G OPTIMUM

Ref. 84284135

Sierra de cinta para metalurgia S 181 G OPTIMUM

-27,35 %
9441,92 €
2.499,99 €

Cantidad: [Añadir al carrito](#) [Favoritos](#)

Exclusivo web, no se vende en tienda ni por teléfono

Vendido y enviado por **European Tools**

3 ofertas más a partir de 2.500 € →

¿Cómo comprar?

Entrega a domicilio
A partir de 4 días a domicilio GRATIS

Tiendas cercanas
No se vende en nuestras tiendas.
Este producto será entregado directamente por un vendedor del Marketplace.






B.4. Horno Tubular

Profilab24.com
professional equipment

Palabra clave / N° de artículo / EAN / Fabricante



SERVICE

INGRESA EN

ES



LABORATORIO • INDUSTRIA • MEDICINA • DENTAL •

SERVICIO DE ATENCIÓN AL CLIENTE: +49 30-403 667 940

/ Laboratorio / Hornos de laboratorio / Horno tubular de alta temperatura Thermconcept ROC, 1500°C



Imagen similar

Horno tubular de alta temperatura Thermconcept ROC, 1500°C

Número de pedido: THERM_8046

de 8.844,59 €

EAN: 4064343412353

EUA del fabricante: 9.310,00 €

Categoría: Hornos de laboratorio

excluyendo: 19% IVA, más Envío (Spendit)

Fabricante: Thermconcept

(incl. 19% IVA 10.524,94 €)

Modelo

por favor, seleccione

Este producto tiene variaciones. Por favor, seleccione la variación deseada.

¡Pide un presupuesto ahora!

Recuerda

Compare

Preguntas

B.5. Torno CNC

Categorías

Servicio de asistencia
 Cuenta
 Mi carrito

Herramientas
Jardín
Baterías
Accesorios
Almacenamiento y transporte
Fijación y ferretería
Clima
Distribución eléctrica
EPP
Promociones
Marcas

Precios competitivos y ofertas diarias >
 Garantía adicional de hasta 5 años* >
 Compra para empresas con factura >
 0% de IVA para empresas de la UE >

[Inicio](#) / [Herramientas eléctricas](#) / [Metal](#) / [Tornos para metal](#) / [CD3675TOP_400V Torno CNC](#)

Holzmann CD3675TOP_400V Torno CNC

[Holzmann](#)

Nº de artículo CD3675TOP_400V | EAN 8120132140649

24.056,02
19.881,01 Sin IVA

Lista de deseos

Plazo estimado de envío: 2-5 días laborables

Socio Premium Holzmann

- Compra para empresas con factura *
- La mayor selección de herramientas profesionales
- Pagos en línea rápidos y seguros (PayPal / tarjeta de crédito / transferencia bancaria)
- Departamento propio de servicio y reparación
- Atención al cliente por verdaderos profesionales
- Asesoramiento para profesionales y aficionados

241

B.7. Mordaza CNC

INICIO / FIJACION I AMARRE I SUJECION / MORDAZAS PARA MAQUINA-HERRAMIE / MORDAZAS DE PRECISION / TORAX MORDAZA MECANICA DE PRECISION 175 X 500 X 755 MM



TORAX MORDAZA MECANICA DE PRECISION 175 X 500 X 755 MM

Ref: V88.440.1775

1.354,35 € IVA incl.

1119,30 € IVA no incl.



Cantidad

1



AÑADIR AL CARRITO

Descripción



Detalles del producto



Especificaciones



Política de envíos y devoluciones

B.8. Calibre Pasa/No Pasa H7



[Menú](#)
[Productos](#)
[Aplicaciones](#)
[Servicios](#)
[Formación](#)
[Soporte y asesoría](#)
[Hoffmann Group](#)
[Catálogo y folletos](#)
[Ofertas](#)

[Compra directa](#)
[ES](#)
[Iniciar sesión](#)
[Cesta de la compra](#)

Página Web → Técnica de medición → Calibres y bloques patrón → Calibres macho y horquillas de control → Calibres lisos Pasa / No Pasa



Calibre liso Pasa / No pasa H7, $\varnothing$ nominal: 26mm

Número de artículo: 484000 26

33,39 €

Precio por 1 Unidad
más IVA en la tarifa actual [Gastos de envío no incluidos](#)
[Precios individuales para clientes empresariales después de iniciar sesión.](#)

nominal (mm):
26

¿Desea pedir más de un artículo? [Para una entrada rápida](#)

+ Añadir etiqueta

☐ Marcado láser de texto libre, Cantidad: 1 4,90 € /piezas

☐ Marcado por láser de código DMC con texto libre, Cantidad: 1 7,20 € /piezas

☐ Marcado por láser de código QR con texto claro, Cantidad: 1 7,20 € /piezas

+ Añadir calibración

☐ Calibración Calibre liso pasa/no pasa, $\varnothing$ máximo: 60mm 19,31 € /piezas

☐ Calibración acreditada (por ejemplo, DAkkS) Calibre liso pasa/no pasa, $\varnothing$ máximo: 60mm 25,62 € /piezas

— 1 +

Añadir a la cesta de la compra

En stock

Haga clic para ampliar la imagen

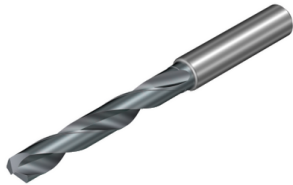
B.9. Broca para Acero

SANDVIK
Coromant

[Inicia sesión](#)
[Carrito](#)

[Herramientas](#)
[Conocimiento](#)
[Servicios](#)
[Apoyo](#)

... > [Broca de agujero cilíndrico](#) > [Broca integral](#) > [Broca con punta simétrica - integral](#) > 462.1-1780-053A0-XM X2BM



Representación genérica

[Mostrar modelo 3D](#)

462.1-1780-053A0-XM X2BM

CoroDrill® Dura 462, broca enteriza de metal duro para multi-materiales >

[Guardar en la lista](#)
[Comparar producto](#)

Precio en lista: 249,00 EUR
> [Inicie sesión para obtener más información](#)

● Disponible a stock

Cantidad de paquetes: 1
ISO: 462.1-1780-053A0-XM X2BM
ID. del material: 8653443
EAN: 7323228356869
ANSI: 462.1-1780-053A0-XM X2BM

[Añadir a la cesta](#)

[Herramienta de corte enteriza](#)
[Reacondicionamiento](#)
[Productos aplicables - En sentido hacia la máquina \(17\)](#)
[Productos similares](#)

Aplicaciones

[Calcular datos de corte](#)

[Abra el personalizador de herramientas](#)

[Montaje de la herramienta](#)

Datos del producto

☒ Metros ☐ Pulgadas

Clasificación de material, nivel 1 (TMC1ISO)



Diámetro de corte (DC)

17,8 mm

Máximo diámetro de mecanizado de máquina (DCONMS)

18 mm

B.10. Fresa para Chaflanes



Representación específica

Mostrar modelo 3D

495-012A16-4509L

CoroMill® 495, fresa para fresado de chaflanes

[Guardar en la lista](#)
[Comparar producto](#)

Precio en lista: 299.00 EUR
 ● Disponible a stock

[Inicie sesión para obtener más información](#)

Cantidad de paquetes: 1
 ISO: 495-012A16-4509L
 ID. del material: 6536271
 EAN: 26536271
 ANSI: 495-012A16-4509L

1
 [Añadir a la cesta](#)

Herramienta

Plaquetas aplicables (3)

Productos aplicables - En sentido hacia la máquina (33)

Repuestos (3)

Productos similares

Aplicaciones

Montaje de la herramienta

Datos del producto

☒ Metros
 ☐ Pulgadas

Ángulo del filo de herramienta (KAPR_1)	45 °
Ángulo del filo de herramienta (KAPR_2)	45 °
Diámetro de corte (DC_1)	12 mm

Descargas

3D básico (STP)

[Descargar](#)
[Ver](#)

B.11. Fresa para Planear

[Inicia sesión](#)

[Carrito](#)

[Herramientas](#)
[Conocimiento](#)
[Servicios](#)
[Apoyo](#)

[...](#)
[Fresa para fresado](#)
[Fresa de planear](#)
[Fresa de planear - intercambiable](#)
[R245-080Q32-18H](#)



R245-080Q32-18H

CoroMill® 245, fresa para planear

[Guardar en la lista](#)
[Comparar producto](#)

Precio en lista: 621.00 EUR

> [Inicie sesión para obtener más información](#)

Disponibile a stock

Cantidad de paquetes: 1

ISO: R245-080Q32-18H

ID. del material: 5743904

EAN: 11766742

ANSI: R245-080Q32-18H

-

1

+

[Añadir a la cesta](#)

[Representación específica](#)
[Mostrar modelo 3D](#)

[Herramienta](#)
[Plaquitas aplicables \(19\)](#)
[Productos aplicables - En sentido hacia la máquina \(37\)](#)
[Repuestos \(3\)](#)
[Productos similares](#)

Aplicaciones

[Calcular datos de corte](#)
[Montaje de la herramienta](#)

Descargas

[3D básico \(STP\)](#)
[Descargar](#)
[Ver](#)

Datos del producto

☒ Metros
 ☐ Pulgadas

Ángulo del filo de herramienta (KAPR)	45 °
Diámetro de corte (DC)	80 mm
Diámetro máximo de corte (DCX)	98,8 mm

B.12. Escariador

SANDVIK
coromant

[Inicio sesión](#)

Carrito

[Herramientas](#)
[Conocimiento](#)
[Servicios](#)
[Apoyo](#)

[...](#) > [Escariador](#) > [Escariador para agujero cilíndrico](#) > [Escariador para agujero cilíndrico - integral](#) > 830B-E06D1800H7S12

Representación genérica

830B-E06D1800H7S12

Cabeza de metal duro integral CoroReamer™ 830 para escariado >

[Guardar en la lista](#)
[Comparar producto](#)

Precio en lista: 449.00 EUR
> [Inicie sesión para obtener más información](#)

Disponibile a stock

Cantidad de paquetes: 1
ISO: 830B-E06D1800H7S12
ID. del material: 5765271
EAN: 12006363
ANSI: 830B-E06D1800H7S12

Herramienta de corte soldada

Productos aplicables - En sentido hacia la máquina (3)

Productos similares

Calcular datos de corte

Descargas

Modelo 2D (DXF)

[Descargar](#) [Ver](#)

Paquete GTC (ZIP)

[Descargar](#)

Datos básicos de las herramientas (ZIP)

[Descargar](#)

Datos del producto

☒ Metros ☐ Pulgadas

Clasificación de material, nivel 1 (TMC1ISO)



Diámetro de corte (DC)

18 mm

Tolerancia de agujero alcanzable (TCHA)

H7

B.13. Calibre

943 744 000 | 648 530 089

[Iniciar sesión](#) | [Registrarse](#)



Buscar palabra clave, ID de producto o categoría ...



0 items

[Productos](#) [Marcas](#) [Promociones](#) [Formación](#) [Descargas](#) [Compra rápida](#) [¿Quiénes somos?](#) [Contacto](#) [Outlet](#)

[Inicio](#) / [Productos](#) / [Metrología y dinamometría](#) / [Calibres](#) / [De profundidad](#) / [Calibre de profundidad 0-150mm 571-301-20](#)



Mitutoyo



Ref D11542571301

Calibre de profundidad 0-150mm 571-301-20

Marca MITUTOYO

[Descargar ficha técnica](#) [Página del catálogo](#)

Varilla Ø 1,9 mm, longitud 6 mm.

[Inicia sesión](#) para acceder a tus precios/descuentos

553,00 €

IVA NO INCLUIDO



Portes gratis
desde 100 €

Entre 12 y 14 días

Capacidad mm

0-150

0-200

Cantidad



1



AÑADIR AL CARRITO

Añade una calibración:

☐ CERTIFICADO CALIBRACION "ENAC" CALIBR. PROF. < 250mm - 54,50 €

☒ Sin calibración

1 Descripción

1 Información técnica

Datos técnicos

B.14. Rugosímetro Digital



🔍
Iniciar sesión
Carrito (0)

Nuestro catálogo
Blog
Fabricantes
Cámaras de vigilancia
Alarma Ajax
Te atendemos ☎ 949 20 10 23 / 91 233 60 27 📞 675924486

Todoelectronica > Instrumentos de medida > Rugosímetros > Rugosímetro digital portátil con medición Ra, Rz, Rq y Rt y software de análisis



Rugosímetro digital portátil con medición Ra, Rz, Rq y Rt y software de análisis

Ref. PCE-RT 1200



☆☆☆☆☆

Rugosímetro de mano con pantalla digital para detección rápida de Ra, Rz, Rq y Rt. Incluye base de calibración y estándar de rugosidad.

1.839,09 € IVA Incl.

1.519,91 € Sin IVA

🟢 En stock Recibelo en 24-48h

-
1
+

Añadir a la cesta

Recibe este producto sin gastos de envío

- + de 35 años
- Asesoramiento experto
- + 300.000 clientes
- Devolución

Somos de confianza:







Opiniones sobre la tienda (4.9/5) Excelente



Información del producto

Características del rugosímetro PCE-RT 1200

El **rugosímetro PCE-RT 1200** mide la rugosidad superficial en diferentes materiales con una gran precisión. Puedes ver los valores en su **pantalla OLED** brillante y de fácil lectura. Dispone además de una memoria para 20 valores de medición y transferir posteriormente a través de la interfaz micro USB para su posterior análisis en el software, que viene incluido. El software de análisis es sobre todo útil cuando debe realizar diferentes series de medición. Los valores serán transferidos al software y podrá analizarlos en la pantalla de su ordenador.

Para la medición de rugosidad se usan diferentes tecnologías y medidores de rugosidad superficiales. Una diferencia básica son los métodos de medición por contacto y sin contacto. Surgen dentro de cada método hay otras diferencias para determinar los parámetros de rugosidad superficial. El

ANEJO C: Normativa y Aspectos Legales

C.1. PNE-prEN ISO 9001



Información Pública Paralela

PROYECTO DE NORMA UNE

PNE-prEN ISO 9001

Este proyecto adopta íntegramente el prEN ISO 9001 en su versión original inglesa.

Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos (ISO/ DIS 9001:2025).

Quality management systems - Requirements (ISO/ DIS 9001:2025)

CORRESPONDENCIA: prEN ISO 9001, Idéntico
ISO/DIS 9001, Idéntico

MODIFICA O REVISA A: UNE-EN ISO 9001:2015
UNE-EN ISO 9001:2015/A1:2024

FECHA LÍMITE DE
RECEPCIÓN DE COMENTARIOS: 2025-10-08

UNE no se hace responsable de la utilización de este documento, ya que está sujeto a posibles modificaciones hasta su aprobación definitiva. Las observaciones deben dirigirse a:

normalizacion@une.org

C.2. UNE-ISO/TS 16949

norma española

UNE-ISO/TS 16949

Diciembre 2009

TÍTULO

Sistemas de gestión de la calidad

Requisitos particulares para la aplicación de la Norma ISO 9001:2008 para la producción en serie y de piezas de recambio en la industria del automóvil

Quality management systems. Particular requirements for the application of ISO 9001:2008 for automotive production and relevant service part organizations.

Systèmes de management de la qualité. Exigences particulières pour l'application de l'ISO 9001:2008 pour la production de série et de pièces de rechange dans l'industrie automobile.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es idéntica a la Especificación Técnica ISO/TS 16949:2009.

OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a las Normas UNE-ISO/TS 16949:2002 y UNE-ISO/TS 16949:2004 Erratum.

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 66 *Gestión de la calidad y evaluación de la conformidad* cuya Secretaría desempeña AENOR.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 52450:2009

© AENOR 2009
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Génova, 6
28004 MADRID-España

info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032

51 Páginas

Grupo 31

Este documento ha sido adquirido por: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA a través de la suscripción AENORMás. Para uso en red interna se requiere de autorización previa de AENOR.
01/06/2026

C.3. UNE-EN 10243-1

norma española

UNE-EN 10243-1:2000/AC

Septiembre 2005

TÍTULO

Piezas de acero forjadas en estampa

Tolerancias dimensionales

Parte 1: Piezas estampadas en caliente en martillos o en prensas verticales

Steel die forgings. Tolerances on dimensions. Part 1: Drop and vertical press forgings.

Pièces forgées par estampage en acier. Tolérances dimensionnelles. Partie 1: Pièces exécutées à chaud sur marteaux-pilons ou presses verticales.

CORRESPONDENCIA

Este erratum es la versión oficial, en español, del Erratum Europeo EN 10243-1:1999/AC que ha sido aprobado con fecha 2005-03-02.

OBSERVACIONES

Este erratum modifica a la Norma UNE-EN 10243-1 de julio de 2000.

ANTECEDENTES

Este erratum ha sido elaborado por el comité técnico AEN/CTN 36 *Siderurgia* cuya Secretaría desempeña CALIDAD SIDERÚRGICA, S.R.L.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 35595:2005

© AENOR 2005
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

Asociación Española de
Normalización y Certificación

C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00
Fax 91 310 40 32

2 Páginas

Grupo 0

Este documento ha sido adquirido por: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA a través de la suscripción AENORMás. Para uso en red interna se requiere de autorización previa de AENOR.
01/06/2026

C.4. UNE-EN ISO 22081



Norma Española
UNE-EN ISO 22081
Febrero 2023

Especificación geométrica de productos (GPS)

Tolerancias geométricas

Especificaciones geométricas generales y especificaciones
generales de dimensión

(ISO 22081:2021)

Esta norma ha sido elaborada por el
comité técnico CTN-UNE 82 *Metrología y
calibración*, cuya secretaría desempeña
CEM.



Asociación Española
de Normalización

Calle de Génova, 6
28004 Madrid, España

915 294 900
info@une.org – www.une.org

Este documento ha sido adquirido por: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA a través de la suscripción AENORMás. Para uso en red interna se requiere de autorización previa de AENOR.
01/06/2026

C.5. UNE-EN ISO 1101:2017



Norma Española
UNE-EN ISO 1101:2017

Idioma: Inglés

Especificación geométrica de productos (GPS).
Tolerancia geométrica. Tolerancias de forma,
orientación, localización y alabeo (ISO 1101:2017).
(Ratificada por la Asociación Española de
Normalización en abril de 2017.)



Asociación Española
de Normalización
Génova, 6 - 28004 Madrid
915 294 900
info@une.org
www.une.org

Este documento ha sido adquirido por: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA. Suscripción AENOR más. Para uso en red interna se requiere de autorización previa de AENOR.
01/06/2026

C.6.UNE-EN ISO 21920



Norma Española
UNE-EN ISO 21920-1
Junio 2023

Especificación geométrica de productos (GPS) Calidad superficial: Método del perfil Parte 1: Indicación de la calidad superficial (ISO 21920-1:2021)

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico CTN 82 *Metrología y calibración*, cuya secretaría desempeña CEM.



C.7. UNE-EN ISO 3452-1



Norma Española
UNE-EN ISO 3452-1
Mayo 2022

Ensayos no destructivos Ensayo por líquidos penetrantes Parte 1: Principios generales (ISO 3452-1:2021)

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico
CTN 130 *Ensayos no destructivos*, cuya secretaría
desempeña AEND.



Asociación Española
de Normalización
Génova, 6 - 28004 Madrid
915 294 900
info@une.org
www.une.org

C.8. UNE-EN 10204

norma española

UNE-EN 10204

Julio 2006

TÍTULO

Productos metálicos

Tipos de documentos de inspección

Metallic products. Types of inspection documents.

Produits métalliques. Types de documents de contrôle.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 10204 de octubre de 2004.

OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a las Normas UNE 36801 de abril de 1992 y UNE 36801/IM de septiembre de 1996.

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 36 *Siderurgia* cuya Secretaría desempeña CALIDAD SIDERÚRGICA, S.R.L.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 31160:2006

© AENOR 2006
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

**Asociación Española de
Normalización y Certificación**

C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00
Fax 91 310 40 32

11 Páginas

Grupo 10

Este documento ha sido adquirido por: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA a través de la suscripción AENORMás. Para uso en red interna se requiere de autorización previa de AENOR.
01/06/2026

C.9. PNE-prEN ISO 2768



Información Pública Paralela

PROYECTO DE NORMA UNE

PNE-prEN ISO 2768

Este proyecto adopta íntegramente el prEN ISO 2768 en su versión original inglesa.

Especificaciones geométricas de productos (GPS). Tolerancias dimensionales. Límites de tolerancia para la especificación general de dimensiones lineales y angulares (ISO/ DIS 2768:2025)

Geometrical product specifications (GPS) - Dimensional tolerancing -Tolerance limits for general specification of linear and angular sizes (ISO/ DIS 2768:2025)

CORRESPONDENCIA: prEN ISO 2768, Idéntico
ISO/DIS 2768, Idéntico

MODIFICA O REVISA A: UNE-EN 22768-1:1994

FECHA LÍMITE DE
RECEPCIÓN DE COMENTARIOS: 2025-11-08

UNE no se hace responsable de la utilización de este documento, ya que está sujeto a posibles modificaciones hasta su aprobación definitiva.
Las observaciones deben dirigirse a:

normalizacion@une.org

C.10. UNE-EN ISO 14040:2006



Norma Española **UNE-EN ISO 14040:2006/A1**

Septiembre 2021
Versión corregida, Enero 2022

Gestión ambiental
Análisis del ciclo de vida
Principios y marco de referencia
Modificación 1
(ISO 14040:2006/Amd 1:2020)

Esta modificación ha sido elaborada por el comité técnico CTN 150 *Gestión ambiental*, cuya secretaría desempeña UNE.



Asociación Española
de Normalización
Génova, 6 - 28004 Madrid
915 294 900
info@une.org
www.une.org

C.11. UNE-EN ISO 683-1



Norma Española
UNE-EN ISO 683-1

Enero 2019

**Aceros para tratamiento térmico, aceros aleados y
aceros de fácil mecanización**

**Parte 1: Aceros no aleados para temple y revenido
(ISO 683-1:2016)**

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico
CTN 36 *Siderurgia*, cuya secretaría desempeña
CALIDAD SIDERÚRGICA, S.R.L.



Asociación Española
de Normalización
Génova, 6 - 28004 Madrid
915 294 900
info@une.org
www.une.org

ANEJO D: Sostenibilidad

D.1. ODS 9: INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURAS

Bienvenidos a las Naciones Unidas

العربي 中文 English Français Русский Español

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Búsqueda

Portada Contexto **Objetivos** ¿Qué puedo hacer? Alianzas Noticias y Medios de Información Recursos Pacto para el Futuro

Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación

9 INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURAS

El Objetivo 9 pretende construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación. El crecimiento económico, el desarrollo social y la acción por el clima dependen en gran medida de las inversiones en infraestructuras, el desarrollo industrial sostenible y el progreso tecnológico. Ante la rápida evolución del panorama económico mundial y el aumento de las desigualdades, el crecimiento sostenido debe implicar una industrialización que, en primer lugar, haga accesibles las oportunidades a todas las personas y, en segundo lugar, se apoye en la innovación y en infraestructuras resistentes.

La industria manufacturera mundial, considerada uno de los motores del crecimiento económico global, ha venido experimentando un declive constante debido a los aranceles y las tensiones comerciales, incluso antes del inicio de la pandemia de la COVID-19. El declive de la industria manufacturera provocado por la pandemia ha tenido graves repercusiones en la economía mundial.

Esto se debe principalmente a la elevada inflación, los cambios en el precio de la energía, las continuas interrupciones en el suministro de materias primas y productos intermedios, y la desaceleración de la economía mundial.

Mientras que los países menos adelantados (PMA) de Asia han realizado progresos considerables, los PMA de África tendrían que cambiar la trayectoria actual e intensificar significativamente sus avances para alcanzar el objetivo de aquí a 2030. Sin embargo, las industrias de tecnología media-alta y alta mostraron sólidas tasas de crecimiento.

¿Cuánto hemos avanzado?

En 2022, el 95 % de la población mundial tenía acceso a una red de banda ancha móvil, pero algunas zonas continúan desatendidas. A nivel mundial, la inversión en investigación y desarrollo —así como la financiación destinada a infraestructuras económicas en países en desarrollo— ha aumentado y se han logrado avances impresionantes en la conectividad móvil, con casi la totalidad de la población mundial (97 %) viviendo al alcance de una señal celular móvil.

¿Qué se debe hacer?

Invertir en infraestructuras —transporte, regadío, energía y tecnologías de la información y la comunicación— es crucial para lograr un desarrollo sostenible y empoderar a las comunidades de muchos países. Para alcanzar el Objetivo 9 en 2030, es esencial apoyar a los PMA, invertir en tecnologías avanzadas, reducir las emisiones de carbono y aumentar el acceso a la banda ancha móvil.

¿Por qué debería importarme?

La industrialización inclusiva y sostenible, junto con la innovación y la infraestructura, pueden dar rienda suelta a las fuerzas económicas dinámicas y competitivas que generan empleo e ingresos. Estas desempeñan un papel clave a la hora de introducir y promover nuevas tecnologías, facilitar el comercio internacional y permitir el uso eficiente de los recursos.

La expansión de nuevas industrias significa una mejora del nivel de vida para gran parte de la población. El medioambiente se verá beneficiado si las industrias aplican prácticas sostenibles.

¿Qué precio tendría la pasividad?

El precio a pagar sería elevado. Dado que la industria es uno de los principales impulsores de la agenda mundial para erradicar la pobreza y promover

Objetivos de desarrollo sostenible

1 FIN DE LA POBREZA	2 HAMBRE CERO
3 SALUD Y BIENESTAR	4 EDUCACIÓN DE CALIDAD
5 IGUALDAD DE GÉNERO	6 AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO
7 ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE	8 TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO
9 INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA	10 REDUCCIÓN DE LAS DESIGUALDADES
11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES	12 PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES

D.2. ODS 12: PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES

Bienvenidos a las Naciones Unidas
 عربي 中文 English Français Русский Español

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

[Portada](#)
[Contexto](#)
[Objetivos](#)
[¿Qué puedo hacer?](#)
[Alianzas](#)
[Noticias y Medios de Información](#)
[Recursos](#)
[Pacto para el Futuro](#)

Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles

12

PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES

El Objetivo 12 pretende garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, algo fundamental para sostener los medios de subsistencia de las generaciones actuales y futuras.

Nuestro planeta se está quedando sin recursos, pero el índice de población sigue creciendo. En caso de que la población mundial alcance los 9800 millones de personas en 2050, se podría necesitar el equivalente a casi tres planetas para proporcionar los recursos naturales necesarios para mantener los estilos de vida actuales.

Para reducir nuestros niveles de consumo, debemos cambiar nuestros hábitos de consumo, y una de las principales medidas que debemos adoptar es sustituir los sistemas de suministro energético por otros más sostenibles. Las crisis mundiales provocaron un resurgimiento de las subvenciones a los combustibles fósiles, que casi se duplicaron de 2020 a 2021.

Se están produciendo cambios prometedores en las empresas, como la tendencia al aumento de la elaboración de informes de sostenibilidad —que en apenas unos años se ha visto casi triplicada—, lo que demuestra un mayor nivel de compromiso y concienciación sobre la necesidad de dar prioridad a las prácticas sostenibles en todos los sectores empresariales.

El desperdicio de alimentos es otro indicio del consumo excesivo. Abordar la pérdida de alimentos es urgente y requiere políticas específicas basadas en datos, así como inversiones en tecnologías, infraestructuras, enseñanza y supervisión. A pesar de que una gran parte de la población mundial pasa hambre, cada año se desperdicia la asombrosa cantidad de 931 millones de toneladas de alimentos.

¿Por qué debemos cambiar nuestros hábitos de consumo?

El progreso económico y social conseguido durante el último siglo ha estado acompañado de una degradación medioambiental que está poniendo en peligro los mismos sistemas de los que depende nuestro desarrollo futuro y, ciertamente, nuestra supervivencia.

Para que la transición tenga éxito, es necesario potenciar el aprovechamiento eficaz de los recursos, tener en cuenta todo el ciclo de vida de las actividades económicas y participar activamente en los acuerdos multilaterales sobre el medio ambiente.

¿Qué tiene que cambiar?

Son muchos los hábitos de consumo que, si se modifican ligeramente, pueden tener un gran impacto en la sociedad.

Los gobiernos deben implantar y poner en práctica políticas y normativas que recojan medidas como el establecimiento de objetivos para reducir la generación de residuos, el fomento de prácticas de economía circular, y el apoyo a políticas de contratación sostenible.

La adopción de una economía circular implica diseñar productos duraderos, reparables y reciclables. También implica promover prácticas como la reutilización, el reacondicionamiento y el reciclaje de productos para minimizar los residuos y el agotamiento de los recursos.

Además, se puede adoptar un estilo de vida más sostenible: consumir menos, elegir productos con menor impacto ambiental y reducir la huella de carbono de nuestras actividades cotidianas.

Como empresa, ¿cómo puedo ayudar?

A las empresas les conviene encontrar nuevas soluciones que permitan modelos de consumo y producción sostenibles. Es necesario conocer más a fondo las repercusiones medioambientales y sociales que tienen ciertos productos y servicios, tanto en lo que respecta a su ciclo de vida como al modo en que se ven alterados por su uso en los diferentes estilos de vida.

Las soluciones innovadoras y de diseño facilitan e inspiran a las personas a adoptar estilos de vida más sostenibles, lo que reduce su impacto y

Objetivos de desarrollo sostenible

1 FIN DE LA POBREZA	2 HAMBRE CERO
3 SALUD Y BIENESTAR	4 EDUCACIÓN DE CALIDAD
5 IGUALDAD DE GÉNERO	6 AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO
7 ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE	8 TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO
9 INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA	10 REDUCCIÓN DE LAS DESIGUALDADES
11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES	12 PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES

D.3. ODS 13: ACCIÓN POR EL CLIMA

Bienvenidos a las Naciones Unidas

عربي 中文 English Français Русский Español



OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Búsqueda

Portada

Contexto

Objetivos

¿Qué puedo hacer?

Alianzas

Noticias y Medios de Información

Recursos

Pacto para el Futuro

Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos

13 ACCIÓN POR EL CLIMA



El cambio climático afectará a todas las personas de todos los países de todos los continentes de alguna forma. Se avecina un cataclismo climático y no estamos preparados para las posibles consecuencias.

El cambio climático se debe a las actividades humanas y amenaza la vida en la Tierra tal como la conocemos. Con el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, el cambio climático evoluciona a un ritmo mucho más rápido de lo previsto. Sus efectos pueden ser devastadores y pueden provocar fenómenos meteorológicos extremos y cambiantes, así como la subida del nivel del mar.

De no controlarse, el cambio climático echará por tierra muchos de los avances logrados en materia de desarrollo en los últimos años. También provocará migraciones masivas que derivarán en inestabilidad y guerras.

Para limitar el calentamiento global a 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales, las emisiones ya deberían estar disminuyendo y necesitan reducirse casi a la mitad para 2030, dentro de solo siete años. Sin embargo, estamos muy lejos de lograr este objetivo.

Es crucial tomar medidas urgentes y transformadoras que vayan más allá de meros planes y promesas. Esto exige aumentar las ambiciones, abarcar economías enteras y avanzar hacia un desarrollo resiliente al clima, al tiempo que se traza una trayectoria clara para lograr cero emisiones netas. El tiempo se acaba y es necesario tomar medidas inmediatas para evitar consecuencias catastróficas y garantizar un futuro sostenible a las generaciones venideras.

Acción inmediata

La crisis climática no va a parar, y la comunidad internacional rehúye el compromiso necesario para revertirla. El período comprendido entre 2010 y 2019 fue la década más calurosa que se haya registrado jamás y trajo consigo incendios forestales, huracanes, sequías, inundaciones y otros desastres naturales masivos en todos los continentes.

El cambio climático está alterando las economías nacionales y afectando a las distintas vidas y medios de subsistencia de muchas personas, especialmente las más vulnerables.

Entre 2010 y 2020, las regiones altamente vulnerables en las que viven aproximadamente entre 3300 y 3600 millones de personas, experimentaron tasas de mortalidad humana por inundaciones, sequías y tormentas 15 veces superiores a las de las regiones con una vulnerabilidad muy baja.

¿Qué pasa si no se toman medidas?

De no controlarse, los efectos del cambio climático elevarán la temperatura media mundial por encima de los 3 °C y afectarán negativamente a todos los ecosistemas. Ya se puede observar cómo el cambio climático puede intensificar tormentas y catástrofes, así como hacer que amenazas como la escasez de alimentos y agua se conviertan en realidad y desemboquen en conflictos. Quedamos de brazos cruzados acabará costándonos mucho más que si tomamos acción inmediata.

La solución del problema

Es necesario aumentar la ambición y actuar en todos los niveles para hacer frente al cambio climático. Están sucediendo muchos cambios en todo el mundo, y las inversiones en energías renovables se han disparado. Aún así, queda mucho por hacer. Para limitar el aumento global de la temperatura muy por debajo de los 2 °C, o incluso de 1,5 °C, el mundo debe transformar sus sistemas energéticos, industriales, de transporte, alimentarios, agrícolas y forestales. El mundo dio un primer paso importante en diciembre de 2015 con la adopción del Acuerdo de París, en el que todos los países firmantes se comprometieron a tomar medidas para hacer frente al cambio climático. A pesar de ello, se necesitan más medidas para cumplir los

Objetivos de desarrollo sostenible

1 FIN DE LA POBREZA	2 HAMBRE CERO
3 SALUD Y BIENESTAR	4 EDUCACIÓN DE CALIDAD
5 IGUALDAD DE GÉNERO	6 AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO
7 ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE	8 TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO
9 INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA	10 REDUCCIÓN DE LAS DESIGUALDADES
11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES	12 PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES