



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

Diseño del mecanismo de un retrovisor de
automóvil con Autodesk Inventor

Professional

Autor:

Soba Toquero, Mario

Tutor:

Gómez Bravo, Alfonso

Departamento

C.M./I.M./E.G.I./I.C.G.F./I.M./I.P.F

ÁREA INGENIERÍA MECÁNICA

Valladolid, Julio, 2016.



AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar estas primeras líneas a todas aquellas personas que han estado a mi lado y me han ayudado a lo largo de todos estos años.

Quiero empezar dando las gracias a mis padres, Abelardo y Eva, por todo su apoyo y por haber sufrido conmigo durante toda la carrera, especialmente al principio de la misma cuando las fuerzas me flaqueaban y quise tirar la toalla. Quiero darles las gracias también por toda la educación y el ejemplo que me han dado consiguiendo a base de trabajo que nunca me faltase nada.

Quiero dar las gracias a mis hermanas, Érica y Alicia, y a mi cuñado Javi, porque han hecho todo lo que estaba en su mano por ayudarme tanto académicamente como anímicamente.

Quiero agradecer a María, mi gran compañera, su incondicional apoyo moral y su paciencia conmigo en los momentos de mayor tensión.

Debo dar las gracias a todos mis amigos y compañeros de clase tales como Mehdi, Álvaro, Marcos y Víctor sin los que mi paso por la universidad hubiese sido mucho más difícil.

Finalmente, me gustaría dar las gracias a mi tutor en este TFG, Alfonso Gómez, por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo y por toda la ayuda que me ha brindado para poder hacerlo.

A todos ellos, ¡gracias!



RESUMEN

En la actualidad, el uso de los sistemas informáticos para el diseño de elementos mecánicos, se ha convertido en un pilar básico para las empresas de Ingeniería. En este Trabajo Fin de Grado, a través del software Autodesk Inventor Professional 2015, se lleva a cabo el modelado y la simulación dinámica del mecanismo de un retrovisor de automóvil. Para ello, se detallan una serie de pautas de manejo del programa que resultan imprescindibles para la correcta elaboración virtual de cada una de las piezas que componen el mecanismo, así como para la obtención e interpretación de los resultados de la simulación. Posteriormente, se realiza el estudio de un modelo teórico sencillo y se comparan los resultados con los obtenidos a través del software a fin de verificar la validez y precisión de las simulaciones.

Palabras clave: Inventor, diseño, piñón-cremallera, simulación, retrovisor.

ABSTRACT

Nowadays, the usage of computer systems for the design of mechanic elements has become a basic pillar for the engineering companies. In this Final Student Work, through the employment of the software Autodesk Inventor Professional 2015, is carried out the modeling as well as the dynamic simulation of a wing mirror's automobile mechanism. In order to do it, a number of guidelines about the handle of the program which are crucial for the appropriate virtual elaboration of each of the pieces which compose the mechanism, as well as the collecting and right interpretation of the simulation results are also detailed. Subsequently, it has been done an analysis of a theoretical simple modeling, along with a comparison of the results obtained through the software for the purpose of verifying both the validity and the precision of the simulation.

Key words: Inventor, design, rack – pinion, simulation, wing – mirror.



ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	5
ÍNDICE	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
INTRODUCCIÓN.....	17
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS	20
CAPÍTULO 1: IMPLANTACIÓN DE HERRAMIENTAS DIGITALES EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES.....	23
1.1 SISTEMAS CAD/CAM	25
1.1.1 SISTEMAS CAD.....	25
1.1.1.1 DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR	25
1.1.1.2 INGENIERÍA ASISTIDA POR ORDENADOR (CAE)	30
1.1.2 SISTEMAS CAM	31
1.2 MODELADO PARAMÉTRICO TRIDIMENSIONAL	31
1.3 METODOLOGÍA GENERAL DEL MODELADO PARAMÉTRICO	33
CAPÍTULO 2: EL ESPEJO RETROVISOR.....	35
2.1 EVOLUCIÓN DEL MECANISMO	37
2.2 MODELO FÍSICO REAL DEL ESPEJO RETROVISOR	38
2.2.1 HERRAMIENTAS MECÁNICAS E INSTRUMENTOS DE MEDIDA 39	
2.2.2.1 HERRAMIENTAS MECÁNICAS	39
2.2.2.2 INSTRUMENTOS DE MEDIDA.....	40
2.2.2 DESCRIPCIÓN DEL MECANISMO DISEÑADO	41
CAPÍTULO 3: AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2015.....	47
3.1 INTRODUCCIÓN.....	49
3.2 MÓDULOS DE TRABAJO	49
3.2.1 MÓDULO DE OPERACIONES.....	49
3.2.2 MÓDULO DE ENSAMBLAJE	50
3.2.3 MÓDULO DE DOCUMENTACIÓN.....	50
3.2.4 MÓDULO DE PRESENTACIONES	51
3.3 CREACIÓN DE UN PROYECTO NUEVO	51
3.4 CREACIÓN DE UNA PIEZA NUEVA	54
3.4.1 PARAMETRIZACIÓN.....	60
3.5 CREACIÓN DE UN NUEVO ENSAMBLAJE.....	63
3.6 SIMULACIÓN DINÁMICA.....	67
3.6.1 INSERTAR UNIONES	69
3.6.2 AÑADIR CARGAS EXTERNAS	75



3.6.3	LANZAMIENTO DE LA SIMULACIÓN	76
3.6.4	OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS.....	78
CAPÍTULO 4: MODELADO DE LAS PIEZAS DEL MECANISMO DE ESTUDIO		81
4.1	INTRODUCCIÓN.....	83
4.2	ASIGNACIÓN DE MATERIAL	83
4.3	CARCASA BASE	83
4.4	MOTORES.....	91
4.5	EJES DE LOS MOTORES.....	95
4.6	PIÑONES	96
4.7	CARCASA SUPERIOR DE LOS MOTORES.....	100
4.8	CARCASA DEL PIÑÓN	108
4.9	CREMALLERA.....	111
4.10	CARCASA INFERIOR	113
4.11	CARCASA EXTERNA SUPERIOR	116
4.12	PIVOTANTE	118
4.13	CASQUILLOS METÁLICOS	122
4.14	ENSAMBLAJE FINAL.....	122
CAPÍTULO 5: CÁLCULO TEÓRICO DEL MECANISMO PIÑÓN-CREMALLERA....		123
5.1	GEOMETRÍA DEL PIÑÓN	125
5.2	RESISTENCIA DE LOS DIENTES DEL MECANISMO	126
CAPÍTULO 6: RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DINÁMICA		131
6.1	INTRODUCCIÓN.....	133
6.2	MOVIMIENTO LATERAL.....	133
6.2.1	UNIÓN PIÑÓN - CREMALLERA.....	134
6.2.1.1	FUERZAS	134
6.2.1.2	MOMENTO	135
6.2.2	UNIÓN DE LA CREMALLERA CON LA CARCASA SUPERIOR EXTERNA	136
6.2.2.1	FUERZA	136
6.2.2.2	MOMENTOS	137
6.2.3	UNIÓN ESFÉRICA DE LA CARCASA SUPERIOR EXTERNA CON LA CARCASA BASE	138
6.2.3.1	VELOCIDADES.....	138
6.2.3.2	ACELERACIONES	139
6.2.3.3	FUERZAS	139
6.2.3.4	MOMENTOS	140
6.3	MOVIMIENTO FRONTAL	140
6.3.1	UNIÓN PIÑÓN - CREMALLERA	141
6.3.1.1	FUERZAS	141
6.3.1.2	MOMENTO	142



6.3.2	UNIÓN DE LA CREMALLERA CON LA CARCASA SUPERIOR EXTERNA	143
6.3.2.1	FUERZA	143
6.3.2.2	MOMENTO	143
6.3.3	UNIÓN ESFÉRICA DE LA CARCASA SUPERIOR EXTERNA CON LA CARCASA BASE	144
6.3.3.1	VELOCIDAD	144
6.3.3.2	ACELERACIÓN	145
6.3.3.3	FUERZA	146
6.3.3.4	MOMENTO	147
6.4	COMPARACIÓN DE LAS FUERZAS OBTENIDAS EN EL MODELO TEÓRICO Y LA SIMULACIÓN	147
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS		151
7.1	CONCLUSIONES.....	153
7.2	LÍNEAS FUTURAS	154
BIBLIOGRAFÍA		155
ANEXO I TABLAS DE FACTORES PARA CÁLCULOS TEÓRICOS.....		159
ANEXO II PLANOS		163



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 ESQUEMA DE LA TECNOLOGÍA CAD	25
FIGURA 1.2 PROCESO DE DISEÑO SIN AYUDA DE SISTEMAS CAD/CAM/CAE	26
FIGURA 1.3 PROCESO DE DISEÑO ACTUAL.....	29
FIGURA 2.1 MECANISMO DE UN RETROVISOR ANTIGUO	37
FIGURA 2.2 MECANISMO RETROVISOR MANUAL.....	37
FIGURA 2.3 MECANISMO RETROVISOR AUTOMÁTICO.....	38
FIGURA 2.4 RETROVISOR MERCEDES VITO	39
FIGURA 2.5 JUEGO DE CARRACA CON VARIAS PUNTAS Y LLAVES DE VASO.....	39
FIGURA 2.5 CALIBRE DIGITAL MITUTOYO	40
FIGURA 2.6 PEINE DE ROSCAS MÉTRICAS	40
FIGURA 2.7 GONIÓMETRO.....	40
FIGURA 2.8 MECANISMO DEL RETROVISOR	41
FIGURA 2.9 CARCASA BASE.....	41
FIGURA 2.10 MOTOR JUNTO A SUS PROPIEDADES Y EL EJE DEL MOTOR	42
FIGURA 2.11 PIÑÓN	42
FIGURA 2.12 CREMALLERA	42
FIGURA 2.13 CARCASA SUPERIOR DE LOS MOTORES	43
FIGURA 2.14 CARCASA DEL PIÑÓN	43
FIGURA 2.15 CARCASA INFERIOR.....	43
FIGURA 2.16 CARCASA EXTERNA SUPERIOR	44
FIGURA 2.17 PIVOTANTE	44
FIGURA 2.18 CASQUILLOS METÁLICOS	45
FIGURA 3.1 MENÚ PRINCIPAL DE AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2015	52
FIGURA 3.2 CUADRO DE DIÁLOGO PARA ELEGIR O CREAR UN PROYECTO NUEVO	52
FIGURA 3.3 CUADRO DE DIÁLOGO PARA SELECCIONAR TIPO DE PROYECTO	52
FIGURA 3.4 CUADRO DE DIÁLOGO PARA ASIGNAR NOMBRE Y UBICACIÓN DEL PROYECTO	53
FIGURA 3.5 CUADRO DE DIÁLOGO DE SELECCIÓN DE BIBLIOTECAS	54
FIGURA 3.6 MENÚ PARA LA CREACIÓN DE UNA PIEZA.....	55
FIGURA 3.7 PANTALLA PRINCIPAL DE AUTODESK INVENTOR.....	55
FIGURA 3.8 BARRA DE HERRAMIENTAS PARA BOCETOS.....	56
FIGURA 3.9 CAMBIO DE COLOR AL RESTRINGIR TOTALMENTE UN BOCETO	57
FIGURA 3.10 CARTEL DE RESTRICCIÓN TOTAL	57
FIGURA 3.11 OPERACIONES DE MODELADO 3D	58
FIGURA 3.12 CUADRO DE DIÁLOGO DE LA OPERACIÓN DE EXTRUSIÓN	58
FIGURA 3.13 CUADRO DE DIÁLOGO DE LA OPERACIÓN DE REVOLUCIÓN	59
FIGURA 3.14 OPERACIÓN DE BARRIDO	59
FIGURA 3.15 OPERACIÓN DE SOLEVACIÓN	60
FIGURA 3.16 ICONO DE PARAMETRIZACIÓN.....	60
FIGURA 3-17 CUADRO DE DIÁLOGO PARA LA CREACIÓN Y EDICIÓN DE LOS PARÁMETROS	61
FIGURA 3.18 ÁREA DE SELECCIÓN DE MATERIAL.....	62



FIGURA 3.19 SELECCIÓN DE PROPIEDADES	63
FIGURA 3.20 CUADRO DE DIÁLOGO PARA VER Y EDITAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL MATERIAL	63
FIGURA 3.21 CUADRO DE DIÁLOGO PARA LA CREACIÓN DE UN NUEVO ENSAMBLAJE	64
FIGURA 3.22 BARRA DE HERRAMIENTAS DEL ENTORNO DE ENSAMBLAJE	64
FIGURA 3.23 INSERTAR UNA PIEZA	65
FIGURA 3.24 ICONO DE RESTRICCIÓN Y SUS POSIBILIDADES	65
FIGURA 3.25 CUADRO DE DIÁLOGO DEL COMANDO UNIÓN	66
FIGURA 3.26 CUADRO DE DIÁLOGO DEL COMANDO ANALIZAR INTERFERENCIA	67
FIGURA 3.27 ICONO DE SIMULACIÓN DINÁMICA	68
FIGURA 3.28 ÁRBOL DEL ENTORNO DE SIMULACIÓN	68
FIGURA 3.29 ICONO DE INSERTAR UNIÓN	69
FIGURA 3.30 UNIONES ESTÁNDAR	70
FIGURA 3.31 UNIONES GIRATORIAS.....	70
FIGURA 3.32 UNIONES DESLIZANTES.....	71
FIGURA 3.33 UNIONES DE CONTACTO 2D	71
FIGURA 3.34 UNIONES DE FUERZA.....	72
FIGURA 3.35 PROPIEDADES DE LA UNIÓN.....	72
FIGURA 3.36 PESTAÑA GENERAL DE UNIÓN	73
FIGURA 3.37 VENTANA DE CONDICIONES INICIALES	73
FIGURA 3.38 VENTANA PAR DE LA UNIÓN	74
FIGURA 3.39 VENTANA PARA EL MOVIMIENTO IMPUESTO	74
FIGURA 3.40 CUADRO DE DIÁLOGO PARA INSERTAR VALOR	75
FIGURA 3.41 ICONO DE FUERZA O PAR DE TORSIÓN	75
FIGURA 3.42 CUADRO DE DIÁLOGO DEL COMANDO FUERZA	76
FIGURA 3.43 ICONO DE SIMULADOR	76
FIGURA 3.44 CUADRO DE DIÁLOGO DEL SIMULADOR	77
FIGURA 3.45 ICONO DE GRÁFICO DE SALIDA	78
FIGURA 3.46 VENTANA PARA GRÁFICOS DE RESULTADOS	79
FIGURA 3.37 VENTANA DE PROPIEDADES DE LA CURVA RESULTADO DE LA SIMULACIÓN	79
FIGURA 4.1 BOCETO Y EXTRUSIÓN CIRCUNFERENCIA INICIAL DE LA CARCASA BASE	84
FIGURA 4.2 BOCETO Y EXTRUSIÓN NEGATIVA.....	84
FIGURA 4.3 SOLEVACIÓN INICIAL DE LA CARCASA BASE	85
FIGURA 4.4 CHAFLÁN INTERIOR	85
FIGURA 4.5 BOCETO DE LA RANURA.....	86
FIGURA 4.6 PATRÓN CIRCULAR DE LA RANURA.....	86
FIGURA 4.7 SUPERFICIE BASE DE LA PIEZA.....	87
FIGURA 4.8 BOCETO DE LA POSICIÓN DE LOS TALADROS	87
FIGURA 4.9 TALADROS ESCARIADOS	88
FIGURA 4.10 ZONA INFERIOR DE LOS TALADROS	88
FIGURA 4.11 DIVISOR DE LAS SUPERFICIES	89
FIGURA 4.12 GEOMETRÍA DE LA SUPERFICIE BASE.....	89
FIGURA 4.13 BOCETO DE LA SUPERFICIE.....	90



FIGURA 4.14 RESULTADO DEL CORTE CON LA SUPERFICIE.....	90
FIGURA 4.15 BOCETO DE LA PESTAÑA	90
FIGURA 4.16 SIMETRÍA DE LA GEOMETRÍA.....	91
FIGURA 4.17 TOPE INFERIOR DE LA CARCASA BASE.....	91
FIGURA 4.18 BOCETO Y EXTRUSIÓN INICIAL DEL MOTOR	92
FIGURA 4.19 DISTINTAS PARTES DEL MOTOR	92
FIGURA 4.20 PESTAÑA PARA TERMINALES ELÉCTRICOS	93
FIGURA 4.21 PESTAÑA APOYO MOTOR	93
FIGURA 4.22 TALADRO PASANTE.....	94
FIGURA 4.23 REBAJES LATERALES DEL MOTOR	94
FIGURA 4.24 MOTOR COMPLETO.....	95
FIGURA 4.25 EXTRUSIÓN PARA OBTENER EL CILINDRO CUERPO DEL EJE.....	95
FIGURA 4.26 BOCETO DE LA PESTAÑA	96
FIGURA 4.27 EJE DEL MOTOR COMPLETO.....	96
FIGURA 4.28 CILINDRO INICIAL.....	97
FIGURA 4.29 CIRCUNFERENCIA CONCÉNTRICA	97
FIGURA 4.30 BASE DEL PIÑÓN	98
FIGURA 4.31 BOCETO DE LA RANURA.....	98
FIGURA 4.32 ZONA CILÍNDRICA QUE ES BASE DE LOS DIENTES.....	99
FIGURA 4.33 CUADRO DE DIÁLOGO PARA EL TALLADO DE LOS DIENTES	99
FIGURA 4.34 PIÑÓN COMPLETO	100
FIGURA 4.35 BOCETO INICIAL PARA LA CARCASA SUPERIOR DE LOS MOTORES.....	101
FIGURA 4.36 SOLEVACIÓN DE LOS BOCETOS.....	101
FIGURA 4.37 CUERPO COMPLETAMENTE CERRADO.....	101
FIGURA 4.38 SUPERFICIE FRONTAL DE LA PIEZA	102
FIGURA 4.39 RECORTE DE LAS SUPERFICIES SOBRANTES	102
FIGURA 4.40 COSIDO INICIAL DEL CUERPO	103
FIGURA 4.41 GENERACIÓN AUTOMÁTICA DEL CUERPO SÓLIDO	103
FIGURA 4.42 CUADRO DE DIÁLOGO DEL COMANDO ÁNGULO DE DESMOLDEO	104
FIGURA 4.43 RESULTADO DEL ÁNGULO DE DESMOLDEO	104
FIGURA 4.44 RESULTADO DEL VACIADO	105
FIGURA 4.45 EXTRUSIÓN NEGATIVA INFERIOR	105
FIGURA 4.46 MODELADO DE LAS PESTAÑAS FRONTALES	105
FIGURA 4.47 BOCETOS Y TRAYECTORIA 3D	106
FIGURA 4.48 PIEZA QUE CONECTA LOS DOS LADOS SIMÉTRICOS	106
FIGURA 4.49 RANURAS PARA EL EJE MOTOR.....	107
FIGURA 4.50 SOLEVACIÓN CILÍNDRICA.....	107
FIGURA 4.51 RESULTADO FINAL DE UNO DE LOS LADOS Y PLANO DE SIMETRÍA.....	108
FIGURA 4.52 RESULTADO FINAL DE LA CARCASA DE LOS MOTORES	108
FIGURA 4.53 CILINDRO INICIAL.....	109
FIGURA 4.54 EXTRUSIONES NEGATIVAS PARA ELIMINAR MATERIAL	109
FIGURA 4.55 REBAJES CARCASA DEL PIÑÓN	110
FIGURA 4.56 CREACIÓN DE UNA PESTAÑA PLÁSTICA.....	110



FIGURA 4.57 RESULTADO FINAL CARCASA DEL PIÑÓN	111
FIGURA 4.58 BOCETO INICIAL DE LA CREMALLERA	111
FIGURA 4.59 CUERPO DE LA CREMALLERA	112
FIGURA 4.60 ESFERA DE LA CREMALLERA	112
FIGURA 4.61 REBAJES EN LA CREMALLERA	113
FIGURA 4.62 RESULTADO FINAL DE LA CREMALLERA.....	113
FIGURA 4.63 EXTRUSIÓN INICIAL CARCASA INFERIOR	114
FIGURA 4.64 BOCETO DE LA POSICIÓN DE LOS TALADROS.....	114
FIGURA 4.65 CARACTERÍSTICAS DE LOS TALADROS DE LA CARCASA INFERIOR	115
FIGURA 4.66 RANURA PARA LOS TERMINALES.....	115
FIGURA 4. 67 CARCASA INFERIOR COMPLETA.....	116
FIGURA 4. 68 REVOLUCIÓN PERFIL INICIAL CARCASA EXTERNA SUPERIOR.....	116
FIGURA 4.69 SUPERFICIE CURVA DE CONTACTO.....	117
FIGURA 4.70 NERVIOS EN LA ZONA SUPERIOR.....	117
FIGURA 4.71 PESTAÑAS PARA LAS CREMALLERAS.....	118
FIGURA 4.72 RANURA PARA EL PIVOTANTE	118
FIGURA 4.73 BOCETO INICIAL DEL PIVOTANTE	119
FIGURA 4.74 BOCETO Y CREACIÓN DE LA SUPERFICIE DE CORTE	119
FIGURA 4.75 CREACIÓN DEL CUERPO DEL PIVOTANTE	120
FIGURA 4.76 CORTE CON SUPERFICIE PARA REDONDEAR.....	120
FIGURA 4.77 RANURA INTERMEDIA	120
FIGURA 4.78 ORIFICIO PARA ENCAJAR PESTAÑA	121
FIGURA 4.79 PESTAÑA DEL PIVOTANTE	121
FIGURA 4.80 RESULTADO FINAL DEL PIVOTANTE.....	121
FIGURA 4.81 BOCETO Y REVOLUCIÓN PARA FORMAR EL CASQUILLO.....	122
FIGURA 4.82 ENSAMBLAJE DE TODAS LAS PIEZAS.....	122
FIGURA 5.1 GEOMETRÍA DEL PIÑÓN.....	125
FIGURA 5.2 TENSIONES EN EL DIENTE.....	126
FIGURA 5.3 TABLA RESUMEN DE LOS DATOS	129
FIGURA 6. 1 SISTEMA DE REFERENCIA	133
FIGURA 6.2 MOVIMIENTO LATERAL DEL ESPEJO.....	134
FIGURA 6.3 VARIACIÓN DE LAS FUERZAS EN EL TIEMPO	135
FIGURA 6.4 VARIACIÓN DEL MOMENTO X CON RESPECTO AL TIEMPO	136
FIGURA 6.5 VARIACIÓN EN EL TIEMPO DE LA FUERZA DE CONTACTO DE LA CREMALLERA SOBRE LA CARCASA	137
FIGURA 6.6 VARIACIÓN DEL MOMENTO EN LA UNIÓN DE LA CREMALLERA Y LA CARCASA....	137
FIGURA 6.7 VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD EN LA UNIÓN ESFÉRICA.....	138
FIGURA 6.8 VARIACIÓN DE LA ACELERACIÓN EN LA UNIÓN ESFÉRICA.....	139
FIGURA 6.9 VARIACIÓN DE LAS FUERZAS EN LA UNIÓN ESFÉRICA	140
FIGURA 6.10 MOVIMIENTO FRONTAL DEL ESPEJO	141
FIGURA 6.11 VARIACIÓN DE LAS FUERZAS EN LA UNIÓN PIÑÓN-CREMALLERA EN MOVIMIENTO FRONTAL	142



FIGURA 6.12 VARIACIÓN DEL MOMENTO X EN LA UNIÓN CREMALLERA-CARCASA EN MOVIMIENTO FRONTAL.....	142
FIGURA 6.13 VARIACIÓN EN EL TIEMPO DE LA FUERZA DE CONTACTO EN EL MOVIMIENTO FRONTAL	143
FIGURA 6.14 VARIACIÓN DEL MOMENTO EN LA UNIÓN DE LA CREMALLERA Y LA CARCASA MOVIMIENTO FRONTAL.....	144
FIGURA 6.15 VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD EN LA UNIÓN ESFÉRICA EN MOVIMIENTO FRONTAL	145
FIGURA 6.16 VARIACIÓN DE LA ACELERACIÓN EN EL TIEMPO EN MOVIMIENTO FRONTAL	146
FIGURA 6.17 VARIACIÓN DE LA FUERZA DE ROZAMIENTO ENTRE CARCASAS EN MOVIMIENTO FRONTAL	147
FIGURA 6.18 TABLA DE RESULTADOS	148
FIGURA 7.1 EJEMPLO DE ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS	154
FIGURA A.1 VALORES DEL FACTOR DE CONCENTRACIÓN DE TENSIONES YSA.....	161
FIGURA A.2 VALORES DEL FACTOR DE CONCENTRACIÓN DE TENSIONES YFA	162

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El Trabajo de Fin de Grado que se presenta en este documento, expone el proceso necesario para el modelado y posterior simulación dinámica del mecanismo de un retrovisor de automóvil a través del software Autodesk Inventor Professional 2015, partiendo para ello de un mecanismo real. En dicho trabajo se incluye un cálculo teórico del mecanismo piñón-cremallera, parte fundamental del retrovisor, lo que servirá para comprobar la validez de los resultados obtenidos en la simulación dinámica.

Dicho software, que es considerado una herramienta de diseño paramétrico, forma parte de un grupo de tecnologías que han cosechado un gran éxito. Este éxito se debe principalmente a la disminución de los tiempos invertidos en modificaciones y optimización de los diseños, ya que los cambios producidos sobre él se pueden observar inmediatamente.

El primer paso para poder realizar este trabajo, fue la adquisición de los conocimientos necesarios para el correcto manejo del programa. Dicho aprendizaje se realizó a través de la propia ayuda incluida en el programa, videotutoriales disponibles en internet y libros de la biblioteca de la Universidad de Valladolid.

A lo largo de este Trabajo de Fin de Grado se realizará una descripción muy detallada de los pasos que se han seguido para el modelado de las piezas, y el ensamblaje al completo del mecanismo, incluyendo imágenes que abarcan desde los bocetos iniciales y operaciones de modelado 3D usados, hasta los cuadros de diálogo que ofrece el programa. Dicho trabajo, supone también una guía para la correcta realización de las simulaciones dinámicas de los mecanismos modelados previamente, así como la obtención e interpretación de los resultados de dichas simulaciones. Además, debido a la práctica y experiencia lograda en el manejo del software, se han incluido consejos y recomendaciones de buenas prácticas para evitar errores comunes en el proceso de diseño con Autodesk Inventor Professional.

En particular, el mecanismo seleccionado para la realización de este trabajo fue el de un retrovisor perteneciente al vehículo modelo Mercedes Vito del año 2003. Se optó por este modelo en concreto porque permite ilustrar, de forma suficiente, el tipo de diseño mecánico real que se usa actualmente en la industria, mientras que otros mecanismos alargarían de forma innecesaria el desarrollo de este TFG.



OBJETIVOS

Los objetivos de este Trabajo de Fin de Grado son los que se mencionan a continuación:

- Comprensión del funcionamiento del mecanismo de un retrovisor de automóvil.
- Análisis de las distintas piezas que conforman el mecanismo.
- Aprendizaje del software Autodesk Inventor Professional 2015, el cual es ampliamente usado en la industria actual.
- Diseñar, partiendo del modelo físico real, cada uno de los elementos que conforman el mecanismo.
- Establecimiento de las propiedades físicas y uniones correspondientes a cada una de las piezas.
- Manejo del entorno de Simulación Dinámica.
- Obtención de los resultados de la Simulación Dinámica y comprobación de su validez con un modelo teórico.

Para alcanzar dichos objetivos, el Trabajo de Fin de Grado se ha estructurado en 7 capítulos.

En el Capítulo 1, *“Implantación de herramientas digitales en los procesos industriales”*, se presentan las características y principales ventajas, respecto al método tradicional de diseño, de los distintos sistemas informáticos que se usan hoy en día en el desarrollo de los distintos proyectos industriales. Se incluyen también las desventajas asociadas a estos sistemas y como se ha evolucionado y avanzado para solventarlas.

Seguidamente, en el Capítulo 2, *“El espejo retrovisor”*, se expone la evolución sufrida a lo largo del tiempo por el mecanismo que permite el movimiento del espejo retrovisor. En dicho capítulo se incluye también la descripción del mecanismo objeto de estudio de este trabajo.

Posteriormente, en el Capítulo 3, *“Autodesk Inventor Professional 2015”* se describen los distintos entornos pertenecientes al software de modelado paramétrico Autodesk Inventor Professional 2015. Además, dicho capítulo



incluye una serie de pautas que permiten el desarrollo de un proyecto nuevo por parte de cualquier usuario.

Durante el Capítulo 4, “Modelado de las piezas del mecanismo objeto de estudio”, se lleva a cabo la descripción, paso a paso, de los bocetos y operaciones 3D necesarias para el modelado virtual de cada una de las piezas que conforman el mecanismo objeto de estudio.

En el Capítulo 5, “Cálculo teórico del mecanismo Piñón – Cremallera”, se realiza un estudio teórico de la geometría del piñón además del cálculo de las fuerzas que actúan sobre la cremallera. Con dichos resultados se puede conocer si el mecanismo soporta los esfuerzos sin producirse fallo por rotura en servicio.

Durante el Capítulo 6, “Resultados de la Simulación Dinámica”, se presentan los resultados obtenidos tras realizar la Simulación Dinámica del mecanismo. Para ello, se incluyen los gráficos de la velocidad de giro del mecanismo y por tanto del espejo, aparte de los gráficos de las fuerzas y momentos más representativos del retrovisor. En dicho capítulo se realiza también una comparativa de los resultados teóricos y empíricos permitiendo verificar la validez de las simulaciones.

Por último, en el Capítulo 7, “Conclusiones y líneas futuras”, se incluyen las conclusiones alcanzadas tras el desarrollo del TFG. Además, se exponen posibles líneas de estudio para profundizar en el desarrollo de trabajos futuros.

CAPÍTULO 1

IMPLANTACIÓN DE HERRAMIENTAS DIGITALES EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES



1.1 SISTEMAS CAD/CAM

El diseño asistido por ordenador, CAD (*Computer Aided Design*), y la fabricación asistida por ordenador, CAM (*Computer Aided Manufacturing*), son tecnologías que se basan en el uso de sistemas informáticos como herramienta de soporte en los procesos involucrados en el diseño y la fabricación de los productos.

En la actualidad estas tecnologías han logrado un alto nivel de desarrollo y se han convertido en requisitos indispensables para las empresas en un mercado cada vez más competitivo, obligándolas a lograr un triple objetivo: disminución de los costes, mejora de la calidad y reducción de los tiempos de diseño y producción.

1.1.1 SISTEMAS CAD

Es la tecnología implicada en el uso de un interfaz gráfico que permite la realización de alguna tarea de ingeniería. Las herramientas de CAD, cuya función principal es la definición de la geometría del diseño, ya sea de una pieza mecánica o de elementos de arquitectura, engloban además lo que se denomina como Ingeniería asistida por ordenador, CAE (*Computer Aided Engineering*) que se encarga del análisis, evaluación, simulación y optimización del producto a lo largo de su ciclo de vida.

En la Figura 1.1 se puede observar de forma esquemática lo mencionado en el párrafo anterior:

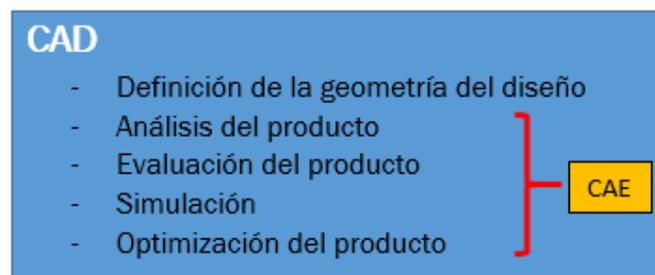


Figura 1.1 Esquema de la Tecnología CAD

1.1.1.1 DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR

El concepto de diseño en el contexto de este trabajo se usa para designar el proceso de representación gráfica de un dispositivo mecánico, el cual es desarrollado para la solución o mejora de un problema, logrando un resultado más eficiente o innovador. Se puede partir de componentes existentes y

realizar modificaciones sobre estos hasta alcanzar las especificaciones requeridas, o bien desarrollar un producto completamente nuevo.

Un proceso de diseño, sin la ayuda o soporte de sistemas CAD/CAE/CAM, seguía las pautas mostradas en la Figura 1.2 y que se comentarán a continuación.

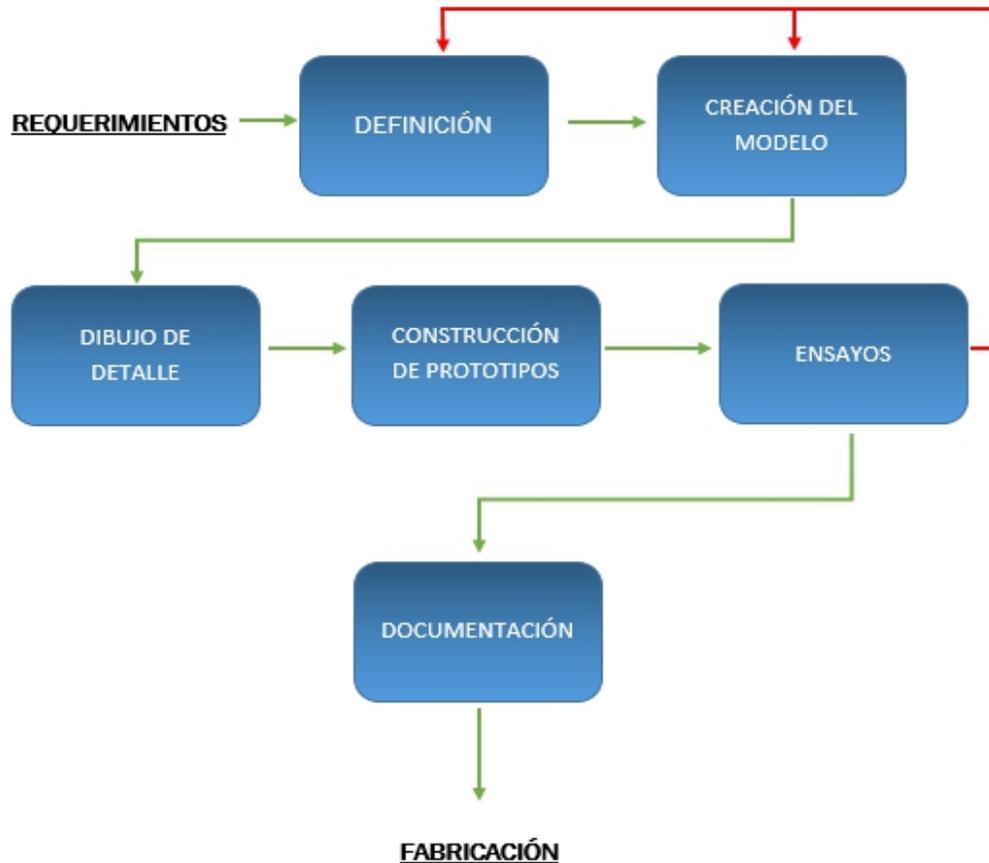


Figura 1.2 Proceso de diseño sin ayuda de sistemas CAD/CAM/CAE

- **Definición:** En esta primera etapa, se deben señalar las propiedades y cualidades más significativas del sistema. Se deben definir las necesidades que van a ser cubiertas y los cambios o soluciones que aplicaremos respecto a modelos ya existentes.

Las actividades a desarrollar en esta etapa son desde estudios de mercado, análisis de fallos de modelos anteriores, identificación de restricciones, clasificación de los atributos (si son básicos; algo a mejorar; o relativos a la calidad), y hasta incluso los aspectos ambientales del producto.



Las herramientas con las que se cuenta en esta etapa son los análisis de productos y estudios tanto de viabilidad como de mercado.

- **Concepción de un modelo:** Como ingenieros, debemos generar diversas alternativas capaces de satisfacer las necesidades requeridas cumpliendo con las especificaciones impuestas. Tras un proceso de síntesis, debemos llevar a cabo y documentar la selección de un modelo en particular.

Las actividades que se llevan a cabo en esta etapa son por tanto de análisis del entorno del producto a diseñar, así como análisis funcionales o comerciales, pasando por los aspectos de rentabilidad a escala industrial o la relación producto-usuario.

Los mecanismos a disposición de la concepción del modelo son las diversas técnicas de representación, las relaciones entre el entorno y el uso del modelo, etc.

- **Dibujo de detalle:** En este punto del proceso, se debe describir técnicamente el modelo con el detalle suficiente como para poder fabricar prototipos que nos permitan ver si el diseño es adecuado.

Por tanto las labores en esta etapa son la elaboración de los planos y las especificaciones técnicas del producto.

- **Construcción de prototipos:** La función de los prototipos es la de validar el modelo desarrollado, o en caso contrario, ver los posibles errores que posee y proponer cambios del mismo.

Las actividades desarrolladas en esta parte del proceso son análisis técnicos de los diseños, de viabilidad económica, análisis de los procesos de montaje y acabado necesarios para la fabricación, estudios sobre proveedores y análisis de riesgos.

- **Realización de ensayos:** En esta etapa podemos descubrir defectos de la concepción del modelo o incluso de su definición. Esto obligaría a retroceder a las etapas anteriores del proceso de diseño produciendo un aumento del tiempo.

Se deben realizar pruebas de los materiales elegidos para la fabricación, y la validación final de los procesos y maquinaria usados en la construcción del modelo. Esto se debe a la posibilidad de que



inicialmente se estableciese un modo de fabricación que tras diversas pruebas, ocasione problemas y necesite ser sustituido por otro proceso que cumpla los requisitos iniciales y no cause dichos inconvenientes.

Las labores a desarrollar en esta etapa abarcan también la capacidad de fabricación por parte de la empresa, la verificación de los objetivos de calidad, la validación del embalaje de producto, la forma de transporte y la verificación de la capacidad de fabricación en serie.

Para todo ello, se dispone de varias herramientas como:

- Diagramas de procesos.
 - Análisis de la empresa para la capacidad de fabricación.
 - Pruebas de embalaje.
 - Pruebas de fabricación.
-
- **Documentación:** Esta última etapa se aborda una vez el diseño se considera válido. La información que se debe incluir en la documentación es muy diversa, desde las listas de los componentes, planos de montaje del sistema, su descripción, etc.

Actualmente, con la entrada de los sistemas CAD/CAM/CAE, el ciclo de diseño clásico se ve afectado por la inclusión de una etapa de simulación entre las etapas de creación del modelo y la de dibujo de detalle. Dicha incorporación se puede observar en la Figura 1.3:

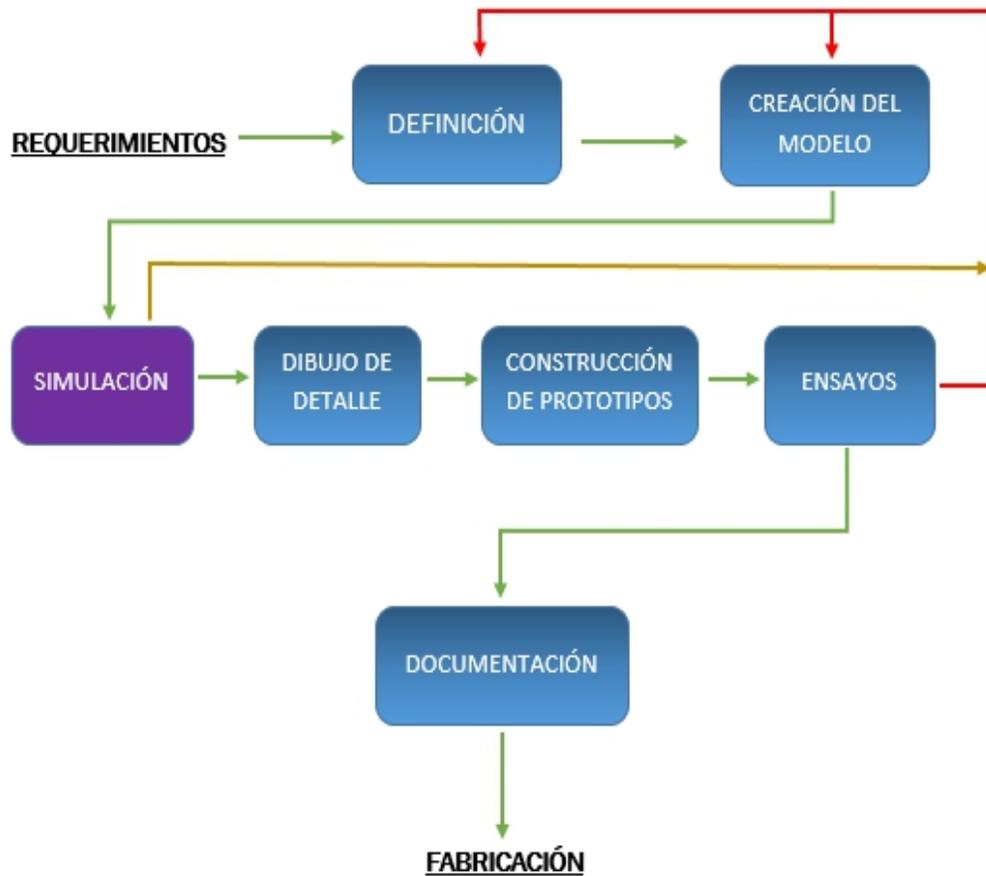


Figura 1.3 Proceso de diseño actual

Dichas herramientas han logrado un gran éxito en el ámbito de la Ingeniería debido principalmente a las siguientes razones:

- Sustitución de los instrumentos tradicionales de dibujo por herramientas de mayor potencia capaces de evitar los problemas del dibujo manual tales como la precisión o la limpieza.
- La productividad asociada al proceso de diseño aumenta en gran medida debido a la capacidad de los sistemas CAD de estructurar y organizar dichos procesos.
- La evolución de estas herramientas junto al desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación (TIC), ha permitido conectar a personas y procesos, extendiendo el ámbito geográfico de los equipos de desarrollo mediante la colaboración integrada en línea a tiempo real de los modelos en fase de ingeniería y de los diseños disponibles.



- Al usar formatos electrónicos, la documentación del proyecto alarga su ciclo de vida y posibilita revisiones y mejoras de un futuro diseño.
- Reducción de costes debido a la disminución de los tiempos de diseño.

1.1.1.2 INGENIERÍA ASISTIDA POR ORDENADOR (CAE)

Las ventajas en la ingeniería del análisis y la optimización de los diseños a través de estas herramientas, es que permiten corregir errores y determinar el comportamiento de los elementos sin necesidad de gastar dinero y tiempo en prototipos reales. Como el coste aumenta exponencialmente en las últimas etapas del diseño y fabricación de un producto, es importante una optimización temprana ya que supone un gran ahorro a las empresas.

El método de análisis por ordenador CAE más explotado en la industria es el *Método de Elementos Finitos FEM (Finite Element Method)* aunque existen otros como por ejemplo el *Método de Puntos Finitos* o el *Método de Partículas*.

El método de elementos finitos se usa para calcular tensiones, deformaciones, transmisiones de calor, flujos de fluidos o cualquier problema de campos continuos. Para ello, la estructura se representa por elementos interconectados que dividen el problema en elementos más sencillos y manipulables por el ordenador. El análisis por elementos finitos requiere por tanto, más que la propia geometría del diseño, un modelo abstracto de la misma. Para obtener dicho modelo se eliminan los detalles innecesarios o se reduce el número de dimensiones, por ejemplo transformando un diseño tridimensional de poco espesor, en un diseño bidimensional.

Como la mayoría de sistemas CAE, el FEM se divide en tres etapas: Pre-procesado, Solución y Post-Procesado. El Pre-Procesado es la parte que se encarga de la generación del modelo abstracto y de la malla de elementos finitos. A continuación, en la etapa de Solución, se realiza el análisis de cada uno de los elementos. Por último, en el Post-Procesado, el ordenador ensambla los resultados y los saca por pantalla resaltando por ejemplo las zonas de gran tensión.



1.1.2 SISTEMAS CAM

Los sistemas CAM permiten automatizar el proceso de fabricación realizando operaciones de planificación de procesos, y de generación y verificación de trayectorias de las máquinas-herramienta. Por tanto, el principal objetivo de los sistemas CAM es proporcionar herramientas que permiten completar, con la tecnología necesaria, la geometría creada en la etapa CAD.

El uso de dichos sistemas está extendido principalmente en procesos de fabricación en cadena, donde se realizan tareas mecánicas susceptibles de ser automatizadas.

Un ejemplo de sistema CAM es el módulo “*Machining*” del software CATIA, que permite, a través de la geometría diseñada previamente con otro módulo del mismo software, obtener la simulación de la máquina empleada en el proceso de fabricación junto con la definición de las trayectorias de las herramientas. Esto permite a los programadores de Control Numérico aumentar la calidad y el rendimiento del maquinado ya que se reducen los desechos de material y se acorta el tiempo de fabricación.

1.2 MODELADO PARAMÉTRICO TRIDIMENSIONAL

Los sistemas CAD nacieron originalmente como tecnologías 2D, y a pesar de que aún son ampliamente usadas, la mayoría de empresas las han ido sustituyendo por sistemas de diseño paramétrico.

El modelo ideado por un proyectista para un diseño se realiza de forma intuitiva en formato 3D, sin necesidad de idear las proyecciones horizontales directamente. El software convencional de CAD 2D tiene una gran potencia en la elaboración de planos, pero no en la elaboración de elementos tridimensionales. Además, dichos software no poseen la flexibilidad necesaria para el desarrollo de un diseño, ya que tienen por objetivo principal la precisión en la representación de los planos y no la búsqueda del diseño óptimo.

Para solventar los inconvenientes de las primeras herramientas CAD, se desarrolla el Modelado Paramétrico Tridimensional de Sólidos, cuyas características fundamentales son las siguientes:

- El diseño del modelo se realiza directamente en formato tridimensional.



- Mayor flexibilidad, ya que la generación de modelos se realiza a través de la agregación sucesiva de características o primitivas 3D fundamentales, relacionadas entre sí mediante operaciones booleanas. Dichas características provienen de bocetos bidimensionales que logran percibir las formas más significativas de los modelos. Posteriormente, añadiendo relaciones de restricción y cotas se limitarán las dimensiones y formas de los bocetos.
- Posibilidad de seleccionar de forma aislada cualquier elemento u operación del diseño en cualquier momento del proceso de diseño debido a la estructura jerarquizada en forma de árbol que poseen estos sistemas.
- Al tratarse de elementos sólidos, se les puede asociar propiedades físicas tales como el tipo de material, masa, centros de gravedad... esenciales para los posteriores estudios dinámicos y de tensiones de los modelos.

Debido a estas características obtenemos una serie de ventajas con respecto a los CAD 2D tradicionales:

- Una mejor visualización del diseño debido a la representación tridimensional.
- Una gran flexibilidad debido a que el diseñador puede partir de bocetos y formas básicas y no de una representación precisa. Dicha precisión la obtendrá a través de la restricción tanto geométrica como dimensional de esas formas básicas.
- Los planos bidimensionales dejan de ser el objetivo principal ya que estas aplicaciones permiten su obtención de manera prácticamente automática a través de los modelos tridimensionales. Esta característica facilita la retroalimentación de la información y de las modificaciones necesarias en el diseño, ya que al ser la representación del modelo el objetivo principal, cualquier variación o restricción queda automáticamente reflejada en los planos de forma que siempre se tendrá la última versión.
- Estos modelos 3D permiten, de forma muy superior a las representaciones bidimensionales, la revisión, análisis y eliminación de los errores de los modelos.



Además de estas ventajas, el diseño paramétrico permite tener en cuenta el proceso de fabricación para construir el modelo. Anteriormente a la aparición de estos sistemas, se realizaban diseños con formas o características complejas que podían hacer imposible su fabricación en el taller, siendo necesario volver a la etapa de diseño para modificarlos. Este aspecto ahora queda prácticamente eliminado ya que el diseñador a través de estos programas, conoce mejor los requerimientos técnicos necesarios para que la fabricación sea posible.

1.3 METODOLOGÍA GENERAL DEL MODELADO PARAMÉTRICO

Un proceso de modelado no tiene habitualmente una solución única y existen generalmente muchas opciones de enfocarlos. En este apartado se describirá algunas nociones que son comunes a la mayoría de los diseños y en el capítulo siguiente se describirá de forma más detallada las opciones que presenta el software Autodesk Inventor Professional 2015.

El primer paso para modelar un sólido consiste en dibujar los bocetos o perfiles esenciales, que normalmente son los contornos básicos de la pieza en 2D, punto desde el cual se puede empezar a desarrollar operaciones en 3D.

Como se ha comentado anteriormente, los sistemas de diseño paramétrico permiten crear bocetos con una gran flexibilidad, permitiendo al diseñador centrarse en el diseño fundamental y no en las dimensiones, aunque es recomendable hacer bocetos próximos al tamaño correcto.

Una vez se ha plasmado la idea inicial, ya es momento de definir las formas y dimensiones del boceto mediante restricciones. Dichas restricciones pueden ser de dos tipos: dimensionales (cotas) y restricciones geométricas entre las distintas partes como pueden ser concentricidad, paralelismo o perpendicularidad. A la hora de añadir estas restricciones, es necesario tener conocimiento de qué funciones de la pieza tienen mayor probabilidad de cambio y cómo. El proyectista debe por tanto ajustar el boceto en cuanto a forma y tamaño a las necesidades impuestas por el propio diseño, a las necesidades asociadas al proceso de fabricación que se va a seguir o a la posible interacción con otros elementos. El resultado de esta etapa consiste en un boceto completamente restringido y definido de forma detallada.



Una vez creado dicho boceto, se debe obtener un modelo sólido o tridimensional aplicando las operaciones de 3D, que en líneas generales, las más habituales en los programas de modelado paramétrico son las siguientes:

- Extrusión: Genera un sólido agregando perfiles de espesor infinitesimal a lo largo de una trayectoria. En función de esta, se derivan varias operaciones distintas:
 - Revolución
 - Barrido
 - Nervio
- S elevación o Multisección: Genera sólidos apoyándose en varios bocetos distintos que definen el contorno del componente.
- Operaciones que una vez creado el sólido, permite realizar modificaciones sobre este como son los taladros, roscas, empalmes, etc.

Mediante la iteración de este proceso, generando nuevos bocetos apoyados generalmente en las caras del modelo que se va creando, y convirtiéndolos en operaciones 3D, se llega al sólido que se quiere diseñar. Es decir, la técnica descrita, y en lo que se fundamenta el modelado paramétrico, se basa en la creación de componentes complejos a través de la agregación (mediante operaciones booleanas ya sean de suma, resta o intersección) de sólidos elementales sencillos.

Estos componentes complejos pueden a su vez agruparse en un ensamblaje añadiendo una serie de uniones y restricciones para definir su posición y comportamiento.

Una vez finalizado el modelado de los componentes y realizado el ensamblaje, el siguiente paso en el proceso de diseño es la generación de la información técnica. Como mencionamos en apartados anteriores, una de las ventajas de estos sistemas es la creación de manera prácticamente automática de los planos, o la lista de componentes. De este modo, el diseñador solo deberá seleccionar el formato, las vistas (incluidos cortes o secciones) que desea y el software las generará.

Además, estas aplicaciones permiten obtener vistas explosionadas del conjunto tanto estáticas como dinámicas mediante animaciones que pueden servir como instrucciones de montaje.

CAPÍTULO 2

EL ESPEJO RETROVISOR

2.1 EVOLUCIÓN DEL MECANISMO

El espejo retrovisor es un sistema de visión que permite al conductor observar el área que se encuentra por detrás del vehículo. Estos espejos van montados sobre una carcasa plástica o metálica que sirve de protección del cristal.

Para poder adaptarse a las necesidades del conductor en cuanto a posición, el espejo retrovisor debe ser capaz de efectuar determinados movimientos. Dichos movimientos son posibles gracias a los mecanismos que se han ido incorporando a lo largo de los años.

En un principio, los vehículos montaban un único espejo retrovisor lateral, el cuál no era más que un espejo montado sobre una carcasa que se unía a un soporte a través de una rótula. Esa unión de rótula era la que permitía al conductor, desde el exterior, adaptar manualmente la posición del espejo a su posición de conducción. Un ejemplo lo podemos ver en la Figura 2.1, que corresponde a un retrovisor del vehículo Renault 12.



Figura 2.1 Mecanismo de un retrovisor antiguo

Posteriormente, los coches fueron evolucionando y comenzaron a equiparse con dos espejos retrovisores laterales, uno a cada lado del vehículo, lo que supuso una gran mejora en la visión posterior para los conductores.



Figura 2.2 Mecanismo retrovisor manual

A su vez, el mecanismo que permite el movimiento del espejo también ha evolucionado y ha dado paso a uno de los sistemas manuales que se monta actualmente, y que es el que vemos en la Figura 2.2. El mencionado mecanismo permite al conductor regularlo desde el interior del vehículo a través de un manipulador que transmite los desplazamientos al espejo a través de un sistema de varillas.

El segundo tipo de mecanismo que montan los espejos retrovisores actualmente es el eléctrico. Las marcas de automóviles han ido desarrollando distintos modelos de mecanismos más o menos complejos como los que vemos en la Figura 2.3, pero todos ellos con la misma base: un motor accionado eléctricamente hace girar un piñón, el cual desplaza una cremallera logrando de esta manera el movimiento el espejo.

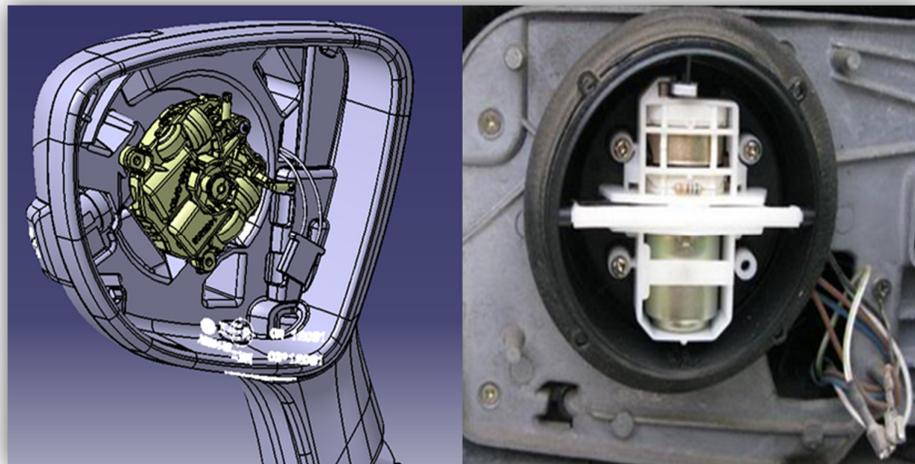


Figura 2.3 Mecanismo retrovisor automático

2.2 MODELO FÍSICO REAL DEL ESPEJO RETROVISOR

Tal y como se ha mencionado en la Introducción, el modelo empleado para el desarrollo de este TFG, es el de un vehículo modelo Mercedes Vito del año 2003. Véase la Figura 2.4.



Figura 2.4 Retrovisor Mercedes Vito

El modelo físico real fue localizado en *Desguaces Velázquez*, situado en el municipio de Cigales, en la provincia de Valladolid. Una vez encontrado, se acudió a dicho desguace para proceder a su desmontaje y posterior adquisición.

2.2.1 HERRAMIENTAS MECÁNICAS E INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Las herramientas usadas para el desmontaje y posterior diseño del mecanismo del espejo retrovisor pueden dividirse en herramientas mecánicas e instrumentos de medida.

2.2.2.1 HERRAMIENTAS MECÁNICAS

Para desmontar el espejo retrovisor del vehículo en primer lugar, y a continuación poder extraer el mecanismo que acciona dicho espejo, han sido necesarias las herramientas mecánicas que se mencionan a continuación:

- Juego de destornilladores planos de varios tamaños.
- Juego de destornilladores de estrella de varios tamaños.
- Juego de carraca con puntas de torx. Véase Figura 2.5.



Figura 2.5 Juego de Carraca con varias puntas y llaves de vaso

2.2.2.2 INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Para llevar a cabo el diseño virtual del mecanismo a partir del modelo físico real, es necesario, primeramente, medir cada una de las piezas que lo componen y obtener de esta manera las cotas necesarias para su representación.

Para ello se usaron los instrumentos de medida que se mencionan a continuación:

- Calibre digital Mitutoyo con rango 0-200 mm (Figura 2.5)



Figura 2.5 Calibre digital Mitutoyo

- Peine de roscas métricas (Figura 2.6)



Figura 2.6 Peine de roscas métricas

- Goniómetro para la medición de ángulos (Figura 2.7)



Figura 2.7 Goniómetro

2.2.2 DESCRIPCIÓN DEL MECANISMO DISEÑADO

En la Figura 2.8 se puede ver el mecanismo de piñón-cremallera capaz de producir el movimiento del espejo del retrovisor.

Las dos cremalleras (resaltadas en la imagen), al ser impulsadas por los piñones, ascienden y descienden moviendo una carcasa externa superior hacia cualquier posición que reclame el usuario.

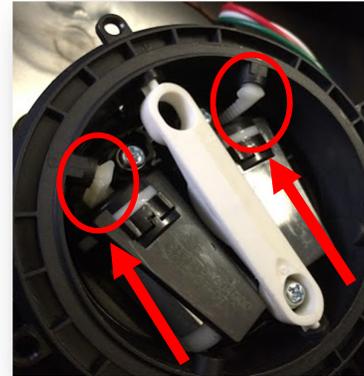


Figura 2.8 Mecanismo del retrovisor

Una vez desmontado, las piezas que componen el mecanismo son las que se mencionan a continuación:

- Carcasa Base
- Motores
- Piñón
- Cremallera
- Carcasa Superior de los motores
- Carcasa del Piñón
- Carcasa del Piñón
- Carcasa Inferior
- Carcasa Externa Superior
- Pivotante
- Casquillos metálicos

La “Carcasa Base” (Figura 2.9) es la pieza sobre la que se asientan el resto de componentes, es decir, es el elemento que actúa como bancada del mecanismo.



Figura 2.9 Carcasa Base

El mecanismo completo del retrovisor posee dos conjuntos simétricos para conseguir distintas inclinaciones, y por tanto, distintas posiciones del espejo. Cada uno de ellos está formado por un motor, un piñón, una cremallera y una carcasa del piñón.

En la Figura 2.10 se observa uno de los dos “Motores” que impulsan el mecanismo. En la imagen se puede ver indicado también el eje del motor, que transmite el movimiento al piñón.



Par motor	Velocidad	Potencia
4,46 mN-m	11090 rpm	5,52 W

Figura 2.10 Motor junto a sus propiedades y el eje del Motor

En la Figura 2.11 se observa una de las piezas principales en la transmisión del movimiento, el “Piñón”. Dicho elemento lleva un ranurado sobre el que encaja el eje, por lo que ambas piezas giran solidariamente.



Figura 2.11 Piñón

En la Figura 2.12 se observa otra de las piezas principales en la transmisión del movimiento: la “Cremallera”. El piñón la impulsa transformando un movimiento de rotación en uno lineal.



Figura 2.12 Cremallera

En la Figura 2.13 se observa la “Carcasa superior de los motores”. La función de esta pieza es servir de punto de fijación, evitando que rote de forma solidaria

al piñón, uno de los elementos que veremos a continuación: la “Carcasa del piñón”.



Figura 2.13 Carcasa superior de los motores

La pieza denominada “Carcasa del piñón” que se ha mencionado en el párrafo anterior, es la que se ve en la Figura 2.14. Esta pieza sirve para evitar que el piñón se desplace de la posición de funcionamiento. Como ambas piezas están en contacto directo, se aplica una capa de lubricante para disminuir la fricción.



Figura 2.14 Carcasa del piñón

En la Figura 2.15 se observa la pieza denominada “Carcasa inferior” del mecanismo. La función de esta pieza es aislar de la suciedad y proteger de otros elementos los terminales eléctricos que suministran energía al mecanismo del retrovisor.



Figura 2.15 Carcasa Inferior

En la Figura 2.16 se observa la “*Carcasa externa superior*”, que es la tercera de las piezas fundamentales en la transmisión de movimiento. A través de una rótula, la cremallera impulsa esta carcasa y genera por tanto el movimiento del espejo que es solidario a esta pieza.



Figura 2.16 Carcasa externa superior

En la Figura 2.17 se puede observar la pieza denominada: “*Pivotante*”. Esta pieza restringe el movimiento de la carcasa anterior. De esta forma evita que las cremalleras se salgan de su posición limitando hasta un determinado ángulo el movimiento del espejo.



Figura 2.17 Pivotante

Finalmente, se puede observar en la Figura 2.18 los “*Casquillos metálicos*”. Estas piezas evitan que las roscas de los tornillos que son necesarios para fijar el mecanismo a la carcasa exterior del retrovisor, dañen elementos plásticos como la “*Carcasa base*” o la “*Carcasa superior de los motores*”.

Como se ve en la imagen, existen dos longitudes distintas de los casquillos en función de la posición donde van montados.



Figura 2.18 Casquillos metálicos

CAPÍTULO 3

AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2015



3.1 INTRODUCCIÓN

Para la correcta interpretación de este TFG, se ha elaborado una breve guía del funcionamiento y manejo del software Autodesk Inventor Professional 2015. Dicha guía no pretende sustituir un manual completo de Autodesk ya que eso se aleja del objetivo del trabajo. Por tanto, si se quiere profundizar en el conocimiento y manejo del programa, se debe acudir a los documentos indicados en la bibliografía.

3.2 MÓDULOS DE TRABAJO

Para facilitar al usuario el trabajo en las distintas etapas del proceso de diseño de las piezas que se han mencionado en el Capítulo 2, el programa dispone de cuatro entornos o módulos principales de trabajo claramente diferenciados y tres secundarios. A cada uno de los entornos principales se accede a través de plantillas específicas que se adaptan a las necesidades concretas de cada módulo.

3.2.1 MÓDULO DE OPERACIONES

Permite la creación de superficies o modelos sólidos paramétricos independientes a partir de bocetos bidimensionales. Mediante herramientas sencillas de bocetado, Autodesk Inventor es capaz plasmar las características principales de las piezas desarrolladas por el diseñador.

Otra característica del programa es que es compatible con los ficheros DWG creados con AutoCad.

Los componentes 3D que se crean en este entorno quedan guardados como ficheros de extensión **.ipt** (**I**nventor **P**art).

Dentro del entorno principal de operaciones, podemos encontrar un entorno secundario de Chapa, que nos permite modelar piezas que se generan mediante corte y doblado de planchas de material de espesor constante.



3.2.2 MÓDULO DE ENSAMBLAJE

En este entorno se crean los conjuntos de piezas o ensamblajes a partir de los componentes que hemos realizado en el módulo anterior, relacionándolos entre sí mediante la adición de las condiciones de montaje, las cuales son restricciones que definen las posiciones y relaciones de las piezas.

Es una parte muy importante en el proceso de diseño ya que nos permite visualizar el modelo completo y comprobar que no existen interferencias de materiales o desajustes entre los componentes.

El diseño de un ensamblaje se puede abordar de dos formas diferentes. La primera es una técnica ascendente en la que se debe diseñar todas las piezas primero a través del entorno de operaciones y finalmente crear un archivo de ensamblaje en la que se insertarán y se impondrán las condiciones de montaje. En la segunda técnica, denominada descendente, el primer paso es crear el archivo de ensamblaje y después diseñar los componentes necesarios accediendo al módulo de operaciones a través del propio módulo de ensamblaje.

Una característica muy importante de este módulo es que a los componentes se les puede asignar un “comportamiento adaptativo” lo que permite que si modificamos un elemento del mecanismo, el resto de elementos se ajusten de forma automática a esa variación.

Los archivos que pertenecen a este entorno se guardan con la extensión **.iam** (Inventor **A**ssembly).

Dentro del entorno de ensamblaje, podemos encontrar un módulo de Soldadura, que nos permite realizar uniones soldadas y empalmes entre elementos, además de otro módulo de Simulación Dinámica, que nos permite simular y analizar las características dinámicas de un ensamblaje con diferentes condiciones de carga.

3.2.3 MÓDULO DE DOCUMENTACIÓN

La elaboración de la documentación, concretamente de los planos de los elementos, es un aspecto fundamental en el desarrollo de un proyecto de ingeniería, ya que son la herramienta de comunicación global entre el conjunto de técnicos implicados.



Con este software, la generación de los planos se realiza de forma semiautomática. Seleccionando una vista base, el programa es capaz de generar otras vistas ortogonales como plantas, alzados y perfiles, así como vistas auxiliares necesarias para representar con detalle tanto las piezas individuales como el conjunto ensamblado. A partir de esto, el programa permite crear las cotas, textos o tablas de materiales que el diseñador necesite.

Al realizar un plano a partir de una pieza o un conjunto, se establece un vínculo entre el archivo que contiene la pieza y el archivo que contiene el plano, de forma que si modificamos la pieza, el plano se actualizará automáticamente.

El formato en el cual se graban todos los planos de fabricación 2D en inventor es el **.idw** (**I**nventor **D**rawing), aunque también podemos grabar directamente en otros formatos como **.dwg** y **.dxf**.

3.2.4 MÓDULO DE PRESENTACIONES

Este entorno está creado con la intención de mejorar la visualización del diseño y facilitar la generación de catálogos o instrucciones de montaje.

A partir de un ensamblaje se puede, de forma manual o automática, generar una vista explosionada del mismo y a partir de ella obtener tanto imágenes estáticas como animaciones que nos permiten verificar colisiones y comprobar parte del funcionamiento cinemático del ensamblaje.

El formato en el cual se graban estos archivos de presentación, explosión o animación de ensamblajes es el **.ipn** (**I**nventor **P**resentation).

3.3 CREACIÓN DE UN PROYECTO NUEVO

El primer paso que hay que realizar para el diseño de cualquiera de los componentes pertenecientes a un mecanismo es la creación de un nuevo proyecto. Para ello, una vez abierto el programa, debemos seguir la siguiente ruta:

- a) En el menú principal que vemos en la Figura 3.1, en la pestaña “para empezar”, seleccionamos “Proyectos” y se abrirá el cuadro de diálogo de la Figura 3.2, en el que debemos seleccionar la opción “Nuevo”

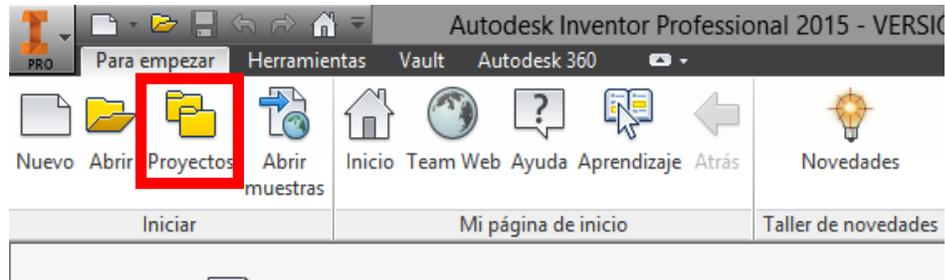


Figura 3.1 Menú principal de Autodesk Inventor Professional 2015

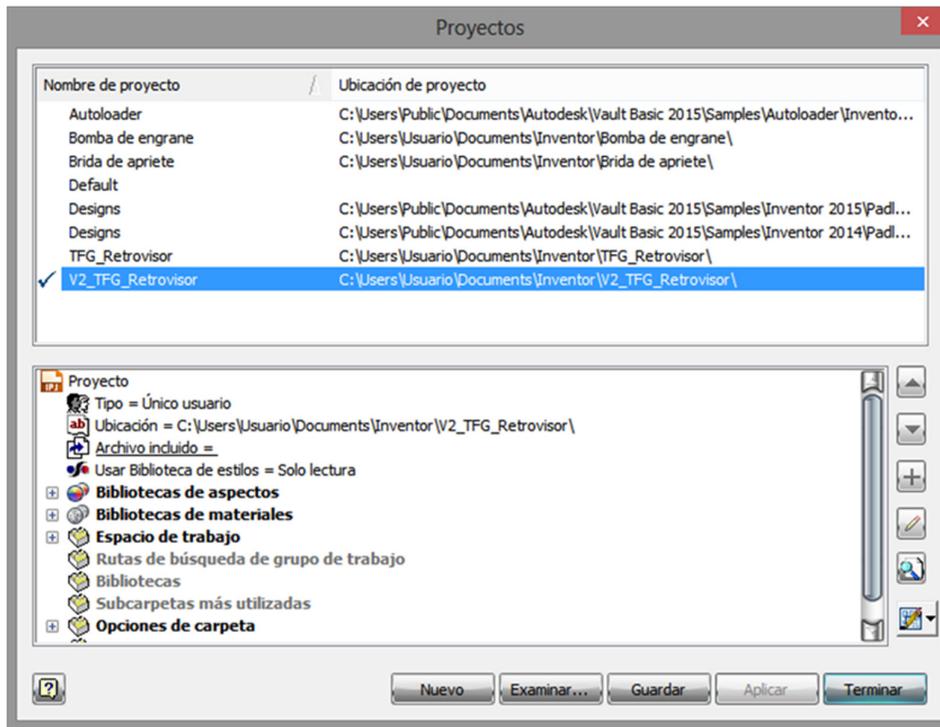


Figura 3.2 Cuadro de diálogo para elegir o crear un proyecto nuevo

- b) Una vez realizado el paso anterior, se abre un asistente como el que vemos en la Figura 3.3 que nos permite seleccionar entre dos opciones el tipo de proyecto que vamos a realizar:

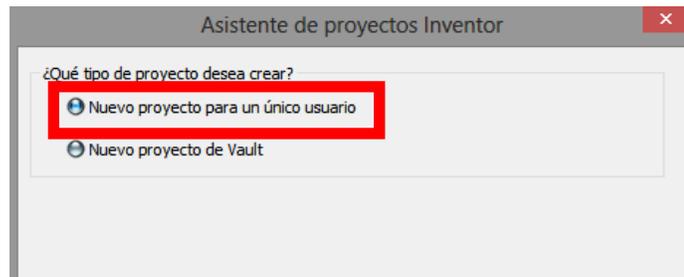


Figura 3.3 Cuadro de diálogo para seleccionar tipo de proyecto



Para este trabajo seleccionaremos la opción de “Nuevo proyecto para un único usuario” ya que está realizado por una sola persona. En los trabajos de ingeniería en donde sea necesario que varios usuarios puedan trabajar sobre un mismo proyecto de forma simultánea es necesario seleccionar la opción de “Nuevo proyecto de Vault” (opción que sólo está disponible si se tiene instalado Autodesk Vault).

- c) A continuación, como vemos en la Figura 3.4, debemos establecer el nombre y la ubicación donde se va a guardar nuestro proyecto. Automáticamente se creará una carpeta con el nombre del proyecto en el directorio que hemos seleccionado, donde quedarán almacenados todos los documentos que guardemos cuando dicho proyecto esté seleccionado como activo.

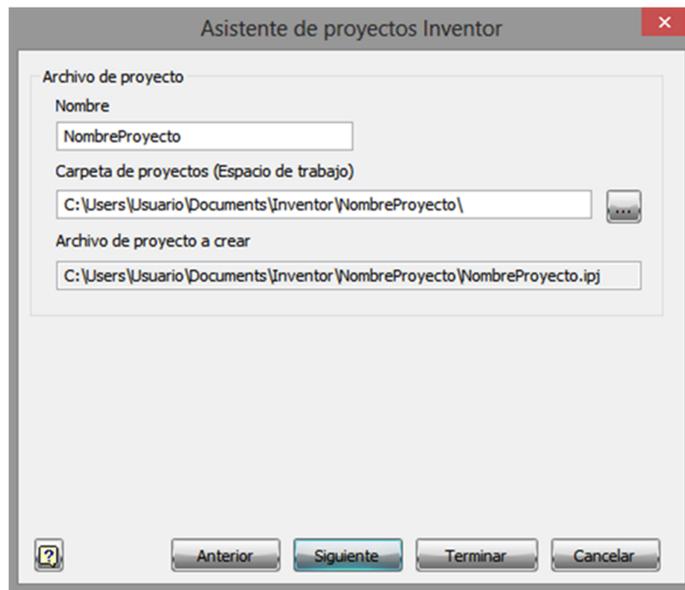


Figura 3.4 Cuadro de diálogo para asignar nombre y ubicación del proyecto

- d) Por último, como vemos en la Figura 3.5, debemos seleccionar de las bibliotecas que trae el programa, las que queremos incluir para usar en el proyecto. Este paso se debe realizar con cuidado ya que es importante seleccionar las librerías adecuadas que nos permitan por ejemplo aplicar los materiales correctos a las piezas o insertar piezas normalizadas en nuestro ensamblaje como tornillos, tuercas, etc.



Figura 3.5 Cuadro de diálogo de selección de bibliotecas

Una vez creado el proyecto, es necesario comprobar que esta seleccionado como proyecto activo ya que los elementos como piezas, ensamblajes o planos que vayamos creando se irán almacenando en la carpeta del proyecto que este seleccionado. Esto es importante, ya que en el caso de estar trabajando en varios proyectos simultáneamente se puede cometer el error de crear una pieza para un proyecto que no sea el que está activo, lo que después nos dificultaría la localización de dicho elemento.

Para comprobar en cualquier momento qué proyecto es el que se encuentra activo, basta con volver al paso a) y en la lista de proyectos ver el que se encuentra marcado con el símbolo (✓). Para activar un proyecto que está inactivo basta con hacer un doble click sobre él o seleccionarlo y pulsar sobre Aplicar y después Terminar.

3.4 CREACIÓN DE UNA PIEZA NUEVA

Una vez creado y activado el proyecto, se procede a la creación de los componentes que lo conforman, ya sean piezas, ensamblajes, planos o presentaciones.

Como se ha mencionado en el Apartado 3.2.2, hay dos formas de iniciar un proyecto. Para el desarrollo del que aquí se expone, se ha empezado creando las piezas y una vez hecho eso, se inició un archivo de ensamblaje para montarlas.

Para la creación de una pieza, en el menú que aparece al abrir el software, (Figura 3.6), en la pestaña “para empezar”, haremos click sobre el icono “Nuevo”. A continuación se abre una ventana en la que debemos seleccionar el tipo de archivo que deseamos crear. Todas las piezas de este proyecto han sido modeladas a partir del archivo “Normal (mm).ipt”. El resto de opciones corresponden a las plantillas preparadas para cada sistema de medida.



Figura 3.6 Menú para la creación de una pieza

Antes de pulsar el icono “Crear” es conveniente observar una ventana al lado del mismo que nos indica el proyecto que está activo. De esta forma no nos equivocaremos y no crearemos la pieza en un proyecto distinto al que deseamos.

La ventana principal de la aplicación presenta el aspecto mostrado en la Figura 3.7, que pertenece al entorno de operaciones.

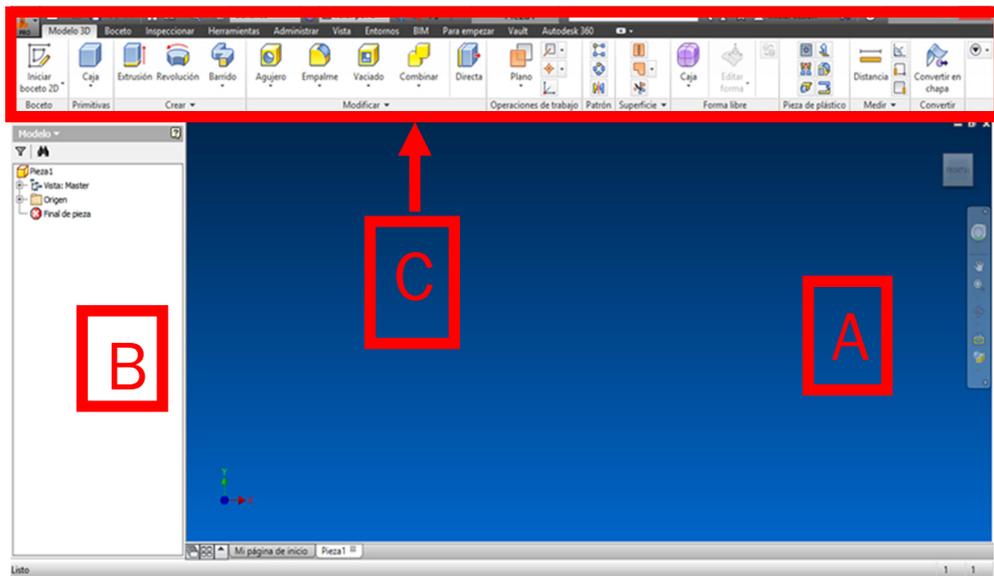


Figura 3.7 Pantalla principal de Autodesk Inventor

El área gráfica (Zona A) es la sección de mayor tamaño del interface ya que es donde se interactúa gráficamente con el diseño. Como referencia en la esquina

izquierda de la parte inferior, podemos ver un triedro donde cada dirección principal se señala con un color distinto.

El panel de control (Zona B), o árbol como se conoce en otros programas como Catia, es de vital importancia para el manejo del software de diseño, ya que ofrece el listado y secuencia de todas las operaciones que se han ido realizando en el modelado de los elementos. Además, permite el acceso a muchas de las instrucciones que más se usan. En función del entorno de trabajo en el que nos encontremos ya sea el de operaciones, de ensamblaje o de creación planos, los iconos que aparecen en esta área son distintos. Por ejemplo en el de creación de una pieza, los iconos mostrarán los bocetos y operaciones realizadas, mientras que en el de ensamblaje, mostrarán las piezas insertadas y las relaciones entre ellas. La barra de herramientas (Zona C) se divide en dos apartados. El apartado superior permite el acceso a una serie de acciones comunes a todos los entornos de trabajo de Autodesk como guardar o abrir un archivo, el material y aspecto de un elemento, etc. La parte inferior en cambio, es propia de cada entorno de trabajo y en ella se localizan las herramientas correspondientes al entorno activo.

Como se mencionó en el capítulo 2, en el modelado de tipo paramétrico, los elementos sólidos se realizan a partir de la aplicación de una operación 3D como una extrusión o una revolución a un boceto bidimensional. Por ello el primer paso en la creación de cualquier pieza es dibujar un boceto 2D.

Para crear un boceto bidimensional, debemos ir a la barra de herramientas y seleccionar la opción “Iniciar Boceto 2D” que nos permitirá elegir el plano sobre el cual queremos plasmar el boceto. Dicho plano, no siempre debe corresponder a uno del triedro directo. Es posible realizar bocetos sobre planos creados por el usuario o bien sobre las caras del propio elemento según lo vamos creando. La Figura 3.8 ilustra la barra de herramientas disponible para dibujar un boceto.



Figura 3.8 Barra de herramientas para bocetos

En la etiqueta “Crear” encontramos varias opciones para iniciar el dibujo como líneas, círculos, arcos o rectángulos. Además en dicha etiqueta está situado un comando ampliamente usado en el diseño de elementos: “Proyectar geometría”. Este comando permite proyectar aristas, vértices, operaciones de

trabajo, contornos y curvas de objetos existentes sobre el plano del boceto que se está editando.

En la etiqueta “Restringir” encontramos todo lo necesario para acotar el boceto tanto dimensionalmente como geoméricamente. Una buena pauta de diseño es la de intentar restringir un boceto usando el menor número de cotas dimensionales posibles, aplicando las restricciones geométricas más convenientes ya que eso hará más estable el diseño frente a modificaciones de alguna de las medidas. Una opción muy interesante en este apartado también es la de “Cotas y restricciones automática” que añade las cotas y restricciones que le faltan al boceto para obtener una “Restricción total”.

Para saber si un boceto está completamente restringido podemos fijarnos en dos cosas: la primera es que el boceto que estamos dibujando cambia de color verde claro a un color verde oscuro una vez hemos conseguido la restricción total del mismo, como se muestra en la Figura 3.9; la segunda opción es que en la parte inferior del área gráfica una ventana pasa de indicar el número de cotas necesarias a indicar el mensaje “Restricción total” como vemos en la Figura 3.10.

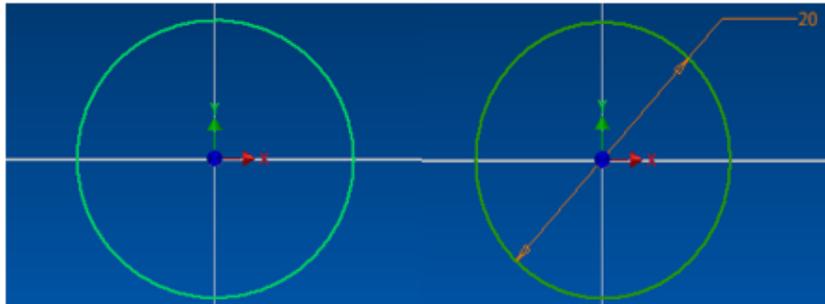


Figura 3.9 Cambio de color al restringir totalmente un boceto

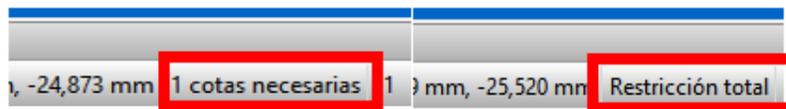


Figura 3.10 Cartel de restricción total

Una vez dibujado y restringido correctamente el boceto, se debe pulsar sobre el icono “Terminar boceto” situado en la parte derecha de la barra de herramientas. En ese momento es posible aplicar las operaciones de modelado 3D que dispone el software y que se observan en la Figura 3.11. Las más usadas por regla general son la extrusión, la revolución, el barrido y la solevación.

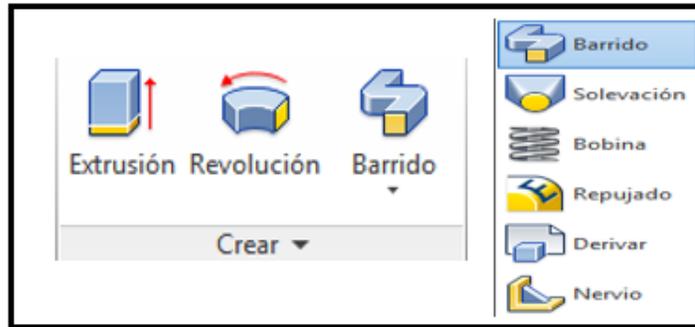


Figura 3.11 Operaciones de modelado 3D

La **Extrusión** de un boceto es una operación booleana que permite añadir material, restar material o bien quedarse con la intersección de dos bocetos. Esta operación añade profundidad a un perfil en una dirección específica y con un ángulo de inclinación determinado. Los perfiles cerrados crean sólidos o superficies mientras que los perfiles abiertos sólo pueden crear superficies.

En la Figura 3.12 vemos el cuadro de diálogo al realizar una extrusión. En el icono de “Perfil” debemos señalar el elemento que queremos extrusionar, mientras que en el apartado de la “Extensión” tenemos tres opciones en función de si queremos que la extrusión tenga una determinada medida, llegue hasta un determinado sitio, o se produzca entre dos elementos. Justo debajo podemos seleccionar la dirección en la que se puede realizar la extrusión.

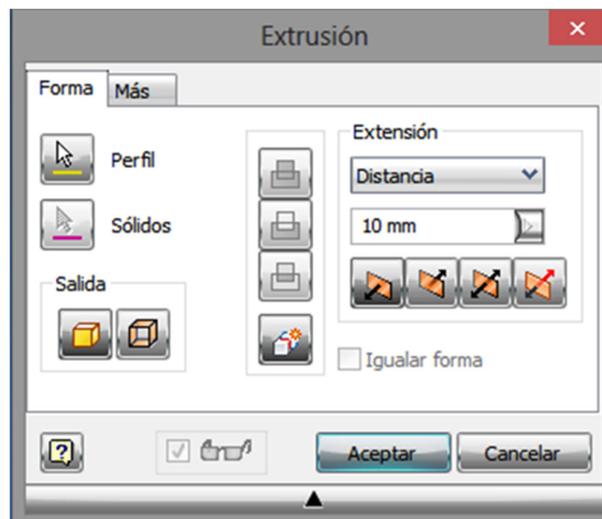


Figura 3.12 Cuadro de diálogo de la operación de extrusión

La **Revolución** es una operación booleana que crea un cuerpo revolucionando uno o varios perfiles de boceto alrededor de un eje. Dichos perfiles pueden revolucionarse con cualquier ángulo, hasta 360 grados. El eje de revolución puede ser parte del perfil o estar desfasado respecto a él. La única condición es que el perfil y el eje de revolución han de ser coplanares.

El cuadro de diálogo (Figura 3.13) es muy similar al de la extrusión. La única diferencia es que en este caso se pide que señalemos el eje y el ángulo que deseamos revolucionar.

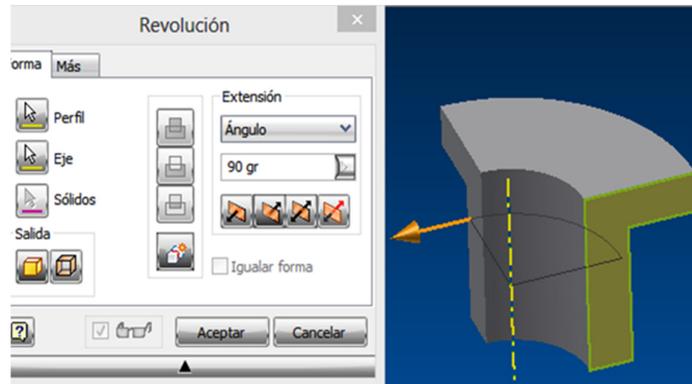


Figura 3.13 Cuadro de diálogo de la operación de revolución

El **Barrido** es una operación booleana que arrastra uno o varios perfiles de boceto a lo largo de una trayectoria seleccionada (Figura 3.14) para crear una operación o un cuerpo. Si se barren varios perfiles, estos deben existir en el mismo boceto. La trayectoria puede ser un contorno abierto o cerrado, pero la condición que debe cumplir es que debe atravesar el plano del perfil. El cuadro de diálogo es muy similar al de la extrusión.

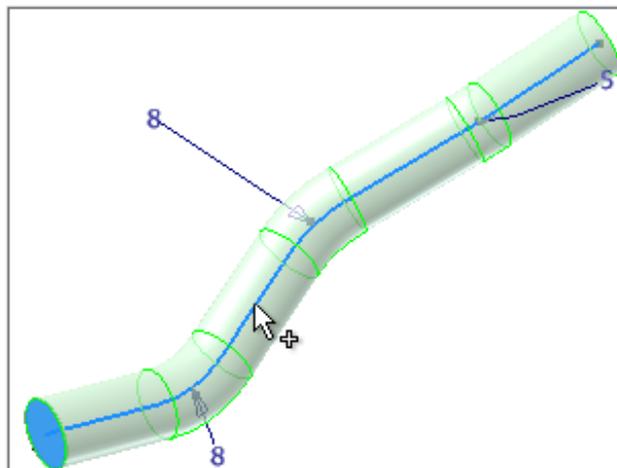


Figura 3.14 Operación de Barrido

La **Solevación** es una operación booleana que permite crear superficies o sólidos complejos a través de una transición entre dos o más bocetos. El proceso consiste en seleccionar una serie de perfiles para definir la forma. Se pueden seleccionar raíles o un eje para refinar la forma. Hay varios tipos de transiciones como la de suavizado o la de tangencia entre los bocetos que el programa aplica automáticamente o bien el usuario puede seleccionar

manualmente. Por ello, el cuadro de diálogo es algo más complejo que el de las anteriores operaciones. Un ejemplo lo podemos ver en la Figura 3.15.

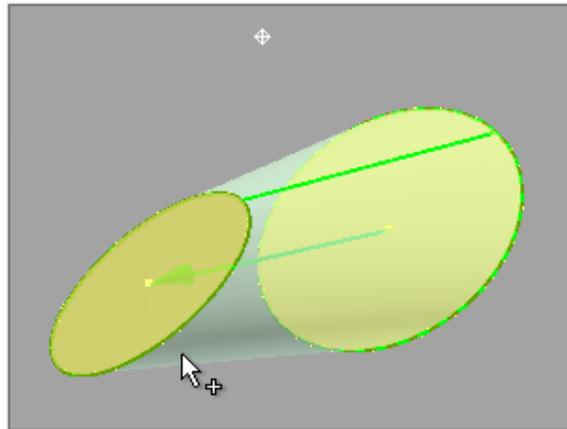


Figura 3.15 Operación de Solevación

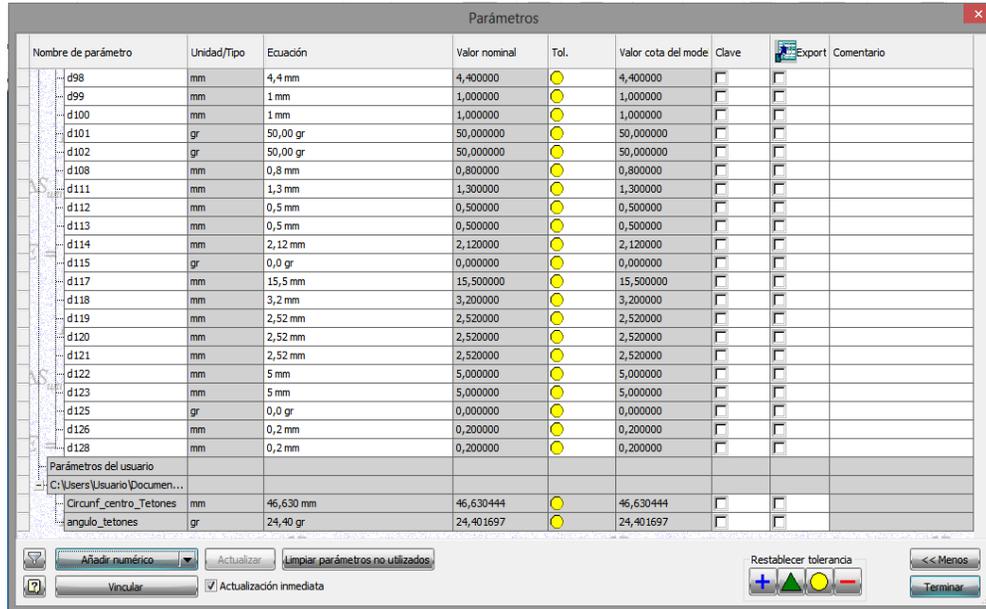
3.4.1 PARAMETRIZACIÓN

Un aspecto muy importante a tener en cuenta para la correcta elaboración de un diseño con un software de modelado paramétrico, es el uso de los parámetros. Cualquier restricción como una longitud, un ángulo o incluso una relación algebraica es susceptible de ser parametrizada. La ventaja de esta herramienta es que permite diseñar elementos semejantes sin necesidad de repetir todo el proceso de diseño. Un ejemplo es el diseño de la misma pieza pero a distinta escala, o piezas muy parecidas que poseen alguna característica distinta, como por ejemplo una longitud.

Para incluir parámetros lo que debemos hacer es pulsar sobre el icono que vemos en la Figura 3.16.



Figura 3.16 Icono de parametrización



Nombre de parámetro	Unidad/Tipo	Ecuación	Valor nominal	Tol.	Valor cota del mode	Clave	Export	Comentario
d98	mm	4,4 mm	4,400000	●	4,400000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d99	mm	1 mm	1,000000	●	1,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d100	mm	1 mm	1,000000	●	1,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d101	gr	50,00 gr	50,000000	●	50,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d102	gr	50,00 gr	50,000000	●	50,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d108	mm	0,8 mm	0,800000	●	0,800000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d111	mm	1,3 mm	1,300000	●	1,300000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d112	mm	0,5 mm	0,500000	●	0,500000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d113	mm	0,5 mm	0,500000	●	0,500000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d114	mm	2,12 mm	2,120000	●	2,120000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d115	gr	0,0 gr	0,000000	●	0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d117	mm	15,5 mm	15,500000	●	15,500000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d118	mm	3,2 mm	3,200000	●	3,200000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d119	mm	2,52 mm	2,520000	●	2,520000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d120	mm	2,52 mm	2,520000	●	2,520000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d121	mm	2,52 mm	2,520000	●	2,520000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d122	mm	5 mm	5,000000	●	5,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d123	mm	5 mm	5,000000	●	5,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d125	gr	0,0 gr	0,000000	●	0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d126	mm	0,2 mm	0,200000	●	0,200000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d128	mm	0,2 mm	0,200000	●	0,200000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Parámetros del usuario								
C:\Users\Usuario\Documen...								
Circun_centro_Tetones	mm	46,630 mm	46,630444	●	46,630444	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
angulo_tetones	gr	24,40 gr	24,401697	●	24,401697	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Figura 3-17 Cuadro de diálogo para la creación y edición de los parámetros

Al pulsar se abre el cuadro de diálogo de la Figura 3.17 en el que podemos encontrar tres tipos de parámetros:

- 1) **Parámetros de modelo:** Son los parámetros que se crean automáticamente al definir una cota o una restricción en el modelo o en el ensamblaje. Estos parámetros tienen por defecto el nombre d0, d1, d2..., pero esto es editable, pudiéndoles poner el nombre que desea el usuario.
- 2) **Parámetros de usuario:** El usuario puede crear los parámetros que él mismo considere oportunos para la correcta elaboración del diseño. Como hemos mencionado antes, una parametrización adecuada puede reducir en gran medida el tiempo de diseño en modelos posteriores.
- 3) **Parámetros vinculados:** Una posibilidad muy interesante es la de definir los parámetros en una hoja de cálculo de Microsoft Excel y vincularla a una pieza o ensamblaje. En este apartado, se pueden incluir también parámetros que proceden desde otra pieza, otro ensamblaje u otro conjunto soldado. Es muy común en el diseño en ingeniería, cuando se trabaja en grupo, crear un archivo llamado “Fichero esquema” o “Fichero contexto” el cual es un archivo de pieza en el que únicamente se establecen los parámetros globales que son comunes a varios elementos. Después este fichero se le suministra a cada diseñador de forma que pueda iniciar el desarrollo de la pieza que le corresponde en base a la información del fichero esquema. Esta información puede



actualizarse en cualquier momento y todo ha de estar hecho de forma que esas piezas queden actualizadas automáticamente en base a esa información.

Para añadir un parámetro nuevo, simplemente debemos pulsar sobre la opción “Añadir numérico” (en el caso de que queramos un parámetro numérico) y asignarle nombre para identificarlo, valor que deseamos y las unidades. Es posible también editar la tolerancia que se desea para ese parámetro indicando el valor nominal, valor superior y valor inferior.

Existe también la posibilidad de crear parámetros de valor múltiple, es decir, parámetros que poseen varios valores alternativos predeterminados por el usuario de los cuales se podrá elegir uno. Esto se consigue dirigiéndonos a la ventana de valor nominal y haciendo click con el botón derecho, se abre un cuadro de diálogo para la creación de valor múltiple.

Una vez hemos terminado el diseño de la pieza es posible variar su aspecto y material a través de la barra de herramientas que vemos en la Figura 3.18 y que se encuentra en la Zona C de la Figura 3.7.



Figura 3.18 Área de selección de material

Además de esto, podemos variar las propiedades físicas del material que asignamos a la pieza como la densidad del mismo, que aunque viene predeterminada por defecto, podemos darle otro valor distinto, el centro de gravedad de la pieza o incluso los momentos principales de inercia.

Este apartado es importante ya que en función del material y las distintas propiedades que tenga, los resultados de las simulaciones dinámicas y los análisis de tensiones pueden verse muy afectados.

Para llevar a cabo esos cambios más profundos, hay que dirigirse a la zona más alta del árbol y pulsar con el botón derecho sobre el nombre de la pieza. En ese momento se abrirá una ventana como la que se ve en la Figura 3.19 y hay que dirigirse a la opción iPropiedades.

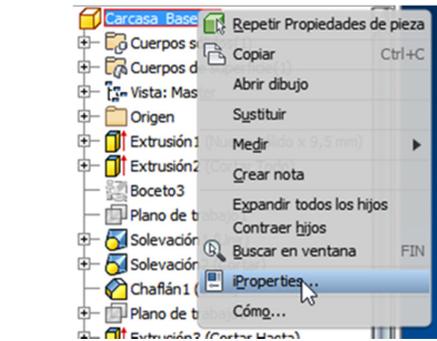


Figura 3.19 Selección de propiedades

Al pulsar iPropiedades se abre el cuadro de diálogo de la Figura 3.20 con varias pestañas que hacen referencia a la creación de la pieza. Debemos dirigirnos a la pestaña de propiedades físicas y en ella podremos variar todas las características antes mencionadas.

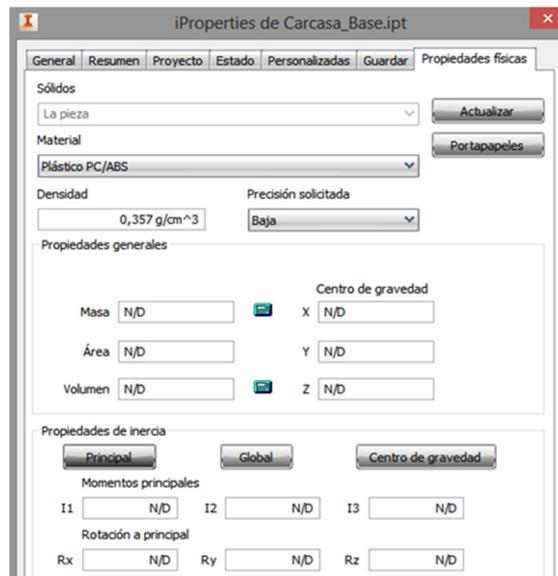


Figura 3.20 Cuadro de diálogo para ver y editar las propiedades físicas del material

3.5 CREACIÓN DE UN NUEVO ENSAMBLAJE

Para iniciar el ensamblaje de los elementos que hemos ido creando, debemos dirigirnos de nuevo al menú principal de la Figura 3.1 y hacer click sobre el icono “Nuevo”. La diferencia es que en este caso, al abrirse el cuadro de diálogo, seleccionaremos el icono que se ve en la Figura 3.21.

Todos los ensamblajes y subensamblajes contenidos en este proyecto se han creado a partir de la plantilla “Normal (mm).iam”.

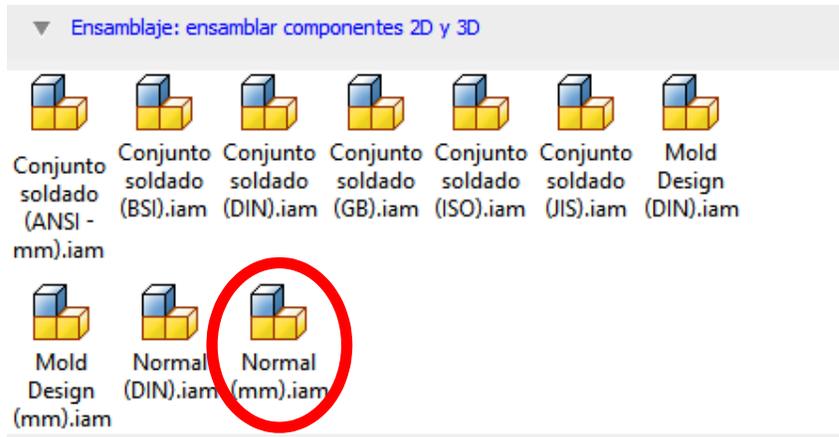


Figura 3.21 Cuadro de diálogo para la creación de un nuevo ensamblaje

Al igual que se hizo en la creación de la pieza, antes de pulsar sobre el icono “Crear” es conveniente asegurarse de que el proyecto sobre el que deseamos trabajar es el que esta seleccionado como proyecto activo.

Una vez hemos pulsado “Crear” se abre el entorno gráfico correspondiente al módulo de ensamblaje. Es prácticamente igual al que se muestra en la Figura 3.7 del módulo de operaciones, con el único cambio de los iconos del árbol, que representan las piezas o subensamblajes insertados, y la barra de herramientas mostrada en la Figura 3.22.

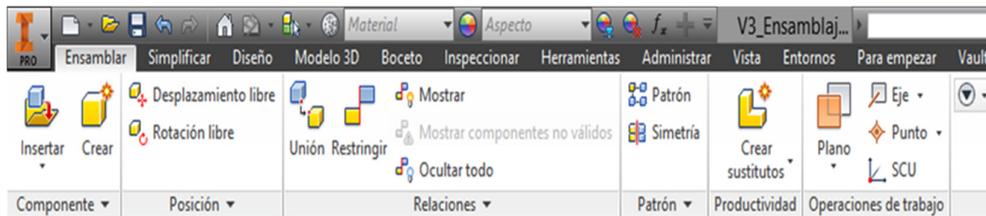


Figura 3.22 Barra de herramientas del entorno de ensamblaje

Para empezar a introducir piezas en nuestro diseño, debemos pulsar sobre el icono “Insertar” que vemos en la Figura 3.23. Tenemos cuatro opciones posibles, pero para el desarrollo de este trabajo, únicamente se han usado dos formas de inserción de elementos, que son las que vemos recuadradas en la imagen.

La opción “Insertar” nos permite introducir uno o varios archivos para colocar como componente en un ensamblaje.

Estos componentes pueden ser piezas o subensamblajes individuales que se comportan como una única unidad

La opción “Insertar desde el Centro de contenido” es muy útil para introducir componentes normalizados que podemos encontrar en la librería del software, por ejemplo tornillos, tuercas o incluso piezas estructurales.

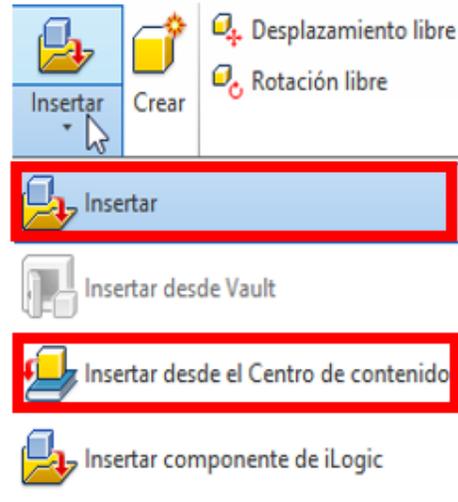


Figura 3.23 Insertar una pieza

Al insertar un elemento, este posee 6 grados de libertad (gdl), por tanto es recomendable en primer lugar definir un componente como elemento fijo. Este no podrá moverse y todo el ensamblaje se construirá en torno a él. El símbolo en el árbol (Zona B de la Figura 3.7) que determina que un elemento está considerado como fijo es el de una chincheta (📌).

Para posicionar el resto de elementos que forman el mecanismo, lo que se debe hacer es añadir restricciones que vayan reduciendo el número de grados de libertad de dichos elementos. Para añadir restricciones debemos dirigirnos a la barra de herramientas, en la pestaña relaciones, al icono “Restringir” que vemos en la Figura 3.24.



Figura 3.24 Icono de restricción y sus posibilidades

En el cuadro de diálogo que se abre aparecen las restricciones que podemos usar para limitar los grados de libertad. Para el ensamblaje del mecanismo que se presenta en este trabajo, se han usado las siguientes:

- 
Coincidencia: coloca los componentes uno en frente del otro o uno junto al otro con las caras niveladas. Elimina tres gdl, uno

de traslación lineal y dos de rotación angular entre las superficies planas.

- 
Angular: Permite situar las aristas o caras planas de dos componentes a un ángulo específico. Suprime un gdl en la rotación o dos gdl de rotación angular entre las superficies planas.
- 
Tangencia: Permite que las caras, cilindros o esferas se toquen en el punto de tangencia. La tangencia puede ser interior o exterior. Elimina un grado de traslación lineal a no ser que sea entre un cilindro y un plano, en cuyo caso se eliminan dos gdl: uno de traslación lineal y otro de rotación.
- 
Inserción: Combina una restricción de coincidencia entre caras planas y una restricción de coincidencia entre los ejes de dos componentes. Deja libre solo un gdl.

Otra forma de aplicar relaciones para determinar la colocación y el movimiento de los componentes es usar el icono de “Unión” que se encuentra situado justo al lado del de “Restringir” como hemos visto en la Figura 3.24 y que presenta un cuadro de diálogo como el que vemos en la Figura 3.25.

La diferencia del comando “Unión” con el de “Restringir” es que con el primero, además de la posición y el comportamiento de los elementos, “Unión” permite definir un rango de movimientos pudiendo visualizar animaciones de los mismos. Por ejemplo, es útil cuando entre dos elementos queremos definir una relación de rótula que permite los tres gdl de rotación.



Figura 3.25 Cuadro de diálogo del comando Unión

Se debe mencionar que en ambos tipos de relaciones existe una ventana que nos permite especificar una distancia o un ángulo de desfase entre los elementos restringidos.

Una vez se ha realizado el ensamblaje de las piezas es necesario analizar si existe interferencias entre algunas de ellas. En un primer momento se puede observar a simple vista si dos piezas chocan o si se introduce una dentro del volumen de otra. Pero hay ocasiones en los que la interferencia es mínima y no se observa a simple vista, por lo que debemos recurrir al comando de “Analizar Interferencia” que se encuentra situado en la pestaña “Inspeccionar” de la barra de herramientas.



Al pulsarlo se abrirá un cuadro de diálogo (Figura 3.26) en el que deberemos seleccionar los cuerpos que queremos analizar.

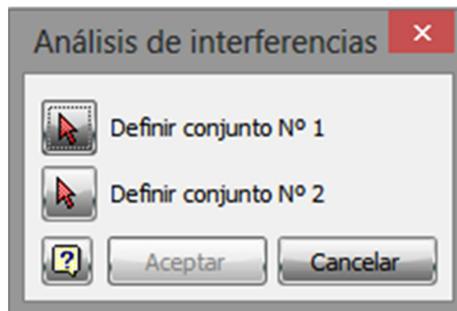


Figura 3.26 Cuadro de diálogo del comando Analizar Interferencia

3.6 SIMULACIÓN DINÁMICA

Como se mencionó en el Apartado 3.2.2, este módulo nos permite simular y analizar las características dinámicas de un ensamblaje en movimiento bajo distintas condiciones de carga que crean una auténtica cadena cinemática.

Para empezar a trabajar en una simulación dinámica, debemos entrar primero en el módulo de ensamblajes, y en la barra de herramientas, en la pestaña de entornos hacer click sobre el icono que vemos en la Figura 3.27:



Figura 3.27 Icono de simulación dinámica

Al cambiar del entorno de ensamblaje al de Simulación dinámica, las restricciones de coincidencia son analizadas por el software y pasan a ser automáticamente uniones que coinciden con la función mecánica de las restricciones. Estas uniones pueden modificarse o suprimirse en el caso de que el diseñador lo considere oportuno.

Otra diferencia a tener en cuenta en el cambio de entorno es la de los grados de libertad. En el entorno de ensamblaje, los componentes que no tienen aplicada ninguna restricción y que no son fijos, poseen seis gdl. Por el contrario, en el entorno de Simulación dinámica, los componentes sin restricciones aplicadas y que no son fijos poseen cero gdl y no tienen movimientos en la simulación. La adición de uniones es la que crea los grados de libertad.

Una vez que estamos dentro del entorno de Simulación dinámica, podemos ver que el árbol está organizado en diferentes carpetas como se ve en la Figura 3.28.



Figura 3.28 Árbol del entorno de simulación

En cada carpeta se almacenan diferentes elementos:

- **Carpeta Fijo:** En ella se encuentran los componentes que no poseen ningún grado de libertad.
- **Carpeta Grupos móviles:** En esta carpeta, quedan agrupados los componentes que pueden participar en la simulación al aplicar fuerzas debido a que poseen grados de libertad. Una opción muy útil de esta carpeta es que nos permite colorear de forma distinta cada grupo móvil para poder diferenciar unos de otros dentro del diseño general.



- **Carpeta Uniones estándar:** Dentro de esta carpeta se encuentran las uniones creadas mediante la conversión automática de restricciones que mencionamos anteriormente.
- **Carpeta de uniones:** Las uniones específicas creadas que no son estándar se ubican en esta carpeta.
- **Carpeta Cargas externas:** En esta carpeta quedan almacenadas las cargas que define el diseñador, además de la gravedad.

3.6.1 INSERTAR UNIONES

Como se ha mencionado anteriormente, el software es capaz de analizar las restricciones impuestas en el entorno de ensamblaje y convertirlas automáticamente en uniones en el entorno de Simulación dinámica. Sin embargo, en muchas ocasiones esto no es suficiente y el diseñador debe insertar uniones de forma manual.

Para ello, en la barra de herramientas debemos dirigirnos al icono de “Insertar unión” que vemos en la Figura 3.29.

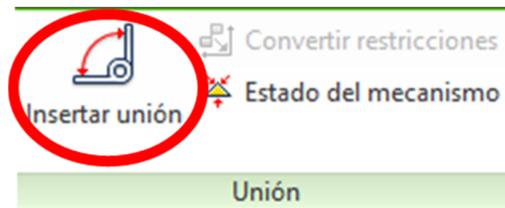


Figura 3.29 Icono de Insertar Unión

En primer lugar se debe determinar el tipo de unión que se necesita. Para ello hay que considerar el número y los tipos de grados de libertad. Una vez hecho esto, los tipos de uniones que se pueden insertar son:

- Unión estándar:** son las más usadas en el diseño de mecanismos. Estas uniones están basadas en distintas combinaciones de grados de libertad de rotación y traslación. Las uniones disponibles en esta categoría podemos verlas en la Figura 3.30 y son de revolución, prismática, cilíndrica, esférica, etc.

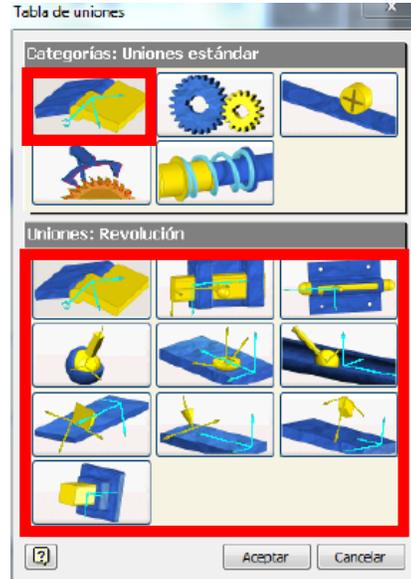


Figura 3.30 Uniones estándar

- Uniones giratorias:** Estas uniones pueden crearse únicamente entre componentes que tienen movimiento relativo entre sí. Algunos ejemplos los podemos ver en la Figura 3.31. Estas uniones aplican una restricción de contacto permanente.

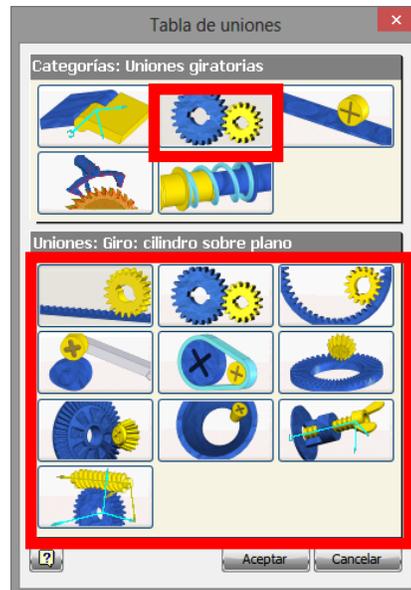


Figura 3.31 Uniones giratorias

- Uniones deslizantes:** Este tipo de unión funciona únicamente con componentes que tienen movimiento 2D relativo entre sí como podemos ver en la Figura 3.32. El programa coloca los sistemas de



coordenadas de la unión en el punto de contacto. El movimiento de dichos componentes se produce en el plano definido por los vectores normal y tangente.

Esta unión aplica una restricción de contacto permanente sin cargas tangenciales.

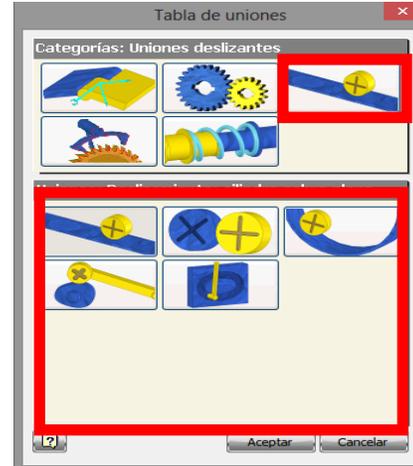


Figura 3.32 Uniones deslizantes

- **Unión de contacto 2D:** A diferencia de los tipos de uniones que hemos visto anteriormente, en este caso se aplica una restricción de contacto no permanente.

Como vemos en la Figura 3.33, únicamente tenemos una opción posible.

Para uniones de contacto 2D, una de las piezas sólo puede tener grados de libertad de movimiento en plano con respecto a la otra pieza. Dichas uniones pueden tener contactos en varios puntos, los cuales se asocian a una carpeta con los valores de salida.

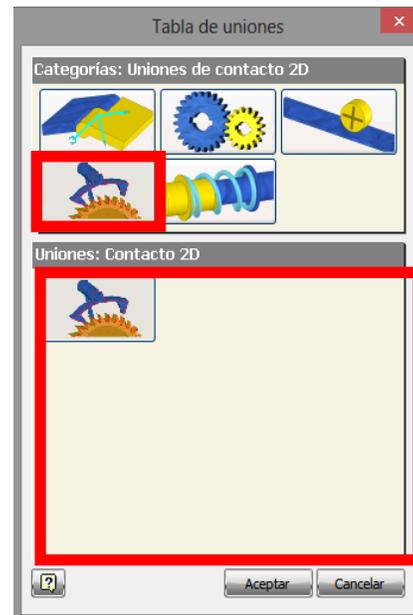


Figura 3.33 Uniones de contacto 2D

- Unión de fuerza:** Son capaces de aplicar una fuerza. Como vemos en la Figura 3.34 existen dos tipos: la unión de contacto 3D se utiliza para modelar los contactos penetrantes no permanentes, mientras que las uniones de muelle/amortiguador/conector permiten modelar fuerzas de acción/reacción.

Este tipo de unión es muy importante ya que permite realizar simulaciones de un mecanismo incluyendo el efecto que tendrían sobre él elementos como muelles, amortiguadores o conectores sin necesidad de diseñarlos.

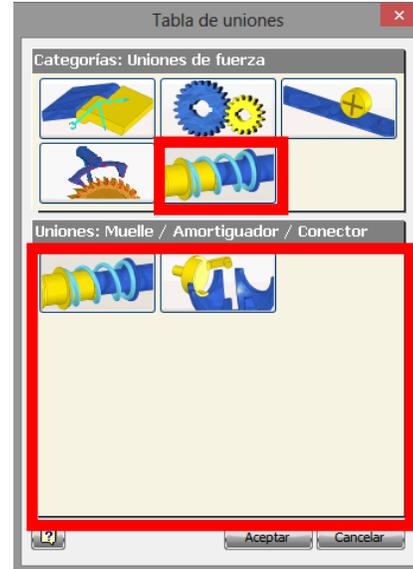


Figura 3.34 Uniones de fuerza

Una vez están establecidas las relaciones de unión estándar entre elementos, podemos modificar los parámetros que afectan a éstas y en consecuencia a la simulación. Para ello debemos hacer click con el botón derecho y seleccionar propiedades como vemos en la Figura 3.35.

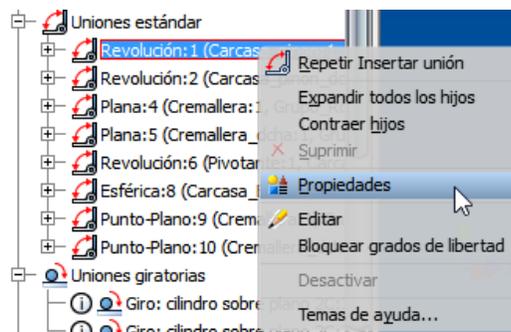


Figura 3.35 Propiedades de la unión

Al pulsar se abre un cuadro de diálogo con una pestaña denominada “General” (Figura 3.36) y otra pestaña adicional por cada grado de libertad condicionado por la unión. A continuación se explicará cada apartado de dicho cuadro.

- Pestaña general

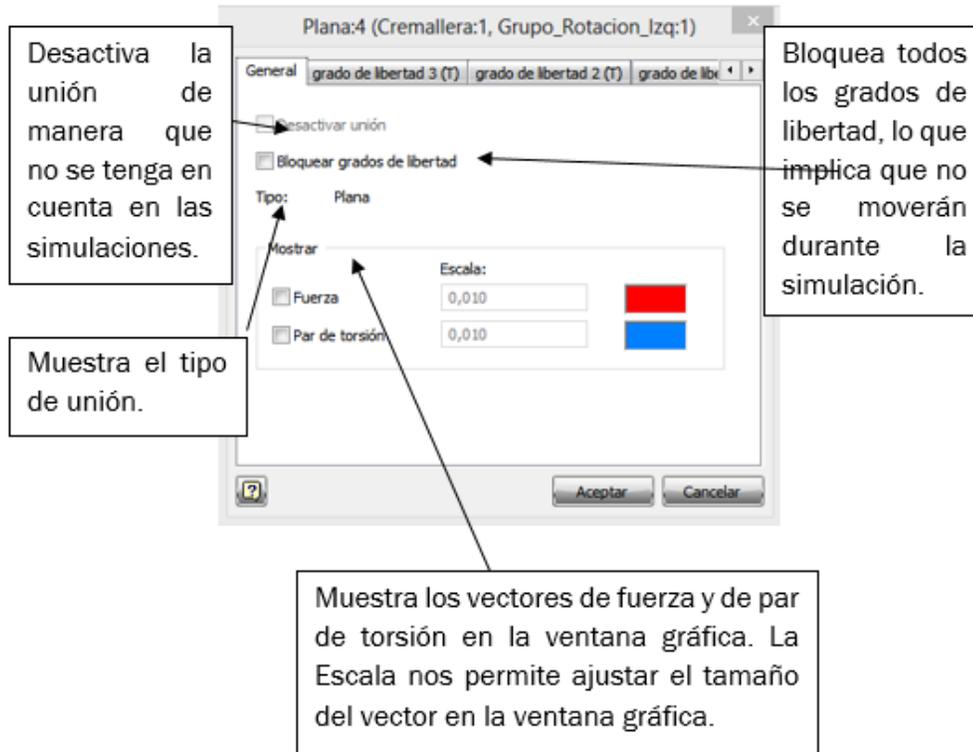


Figura 3.36 Pestaña general de unión

- Pestaña de Grados de Libertad

La ventana de la Figura 3.37 nos muestra las condiciones iniciales de posición y velocidad para el grado de libertad de traslación o rotación.

Cuando tenemos activada la opción “Calculado” el software calcula automáticamente la velocidad inicial teniendo en cuenta el entorno físico.

En esta ventana podemos definir los valores mínimos y máximos del grado de libertad, así como la rigidez y amortiguamiento.

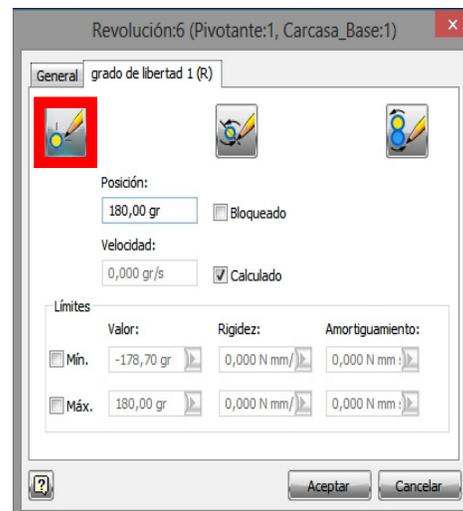


Figura 3.37 Ventana de condiciones iniciales

En este caso, la ventana de la Figura 3.38 muestra los parámetros que definen el par de torsión de acción/reacción para el grado de libertad de rotación.

En este apartado podemos definir el valor de la fuerza o par de torsión, el amortiguamiento viscoso, las condiciones del muelle y los parámetros de fricción.

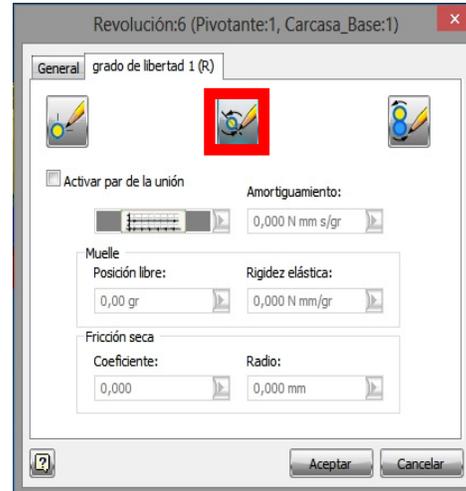


Figura 3.38 Ventana par de la unión

En la Figura 3.39 se observa la ventana correspondiente a los parámetros de Editar movimiento impuesto para el grado de libertad de traslación o rotación.

Marcando la casilla de “Activar movimiento impuesto” podemos definir los movimientos motrices de tres formas:

- a) Posición: se impone una posición como función de tiempo.
- b) Velocidad: Se impone una velocidad como función de tiempo.
- c) Aceleración: Se impone una aceleración como función de tiempo.

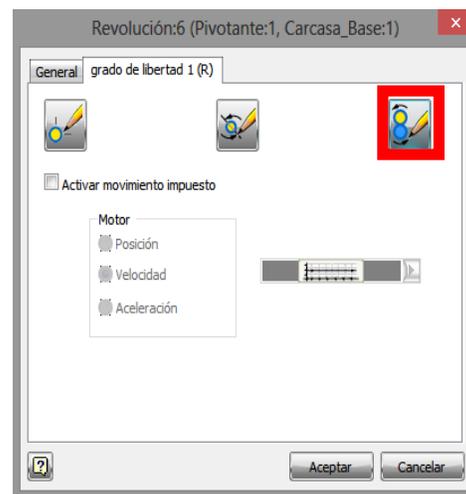
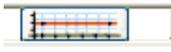


Figura 3.39 Ventana para el movimiento impuesto

Los cuadros con el icono  permiten introducir un valor constante o un valor que varía durante la simulación. En caso de que sea la segunda opción, se abrirá una ventana de diálogo (véase la Figura 3.40) que nos permitirá introducir los parámetros para definir cómo va a variar el valor a lo largo de la simulación.

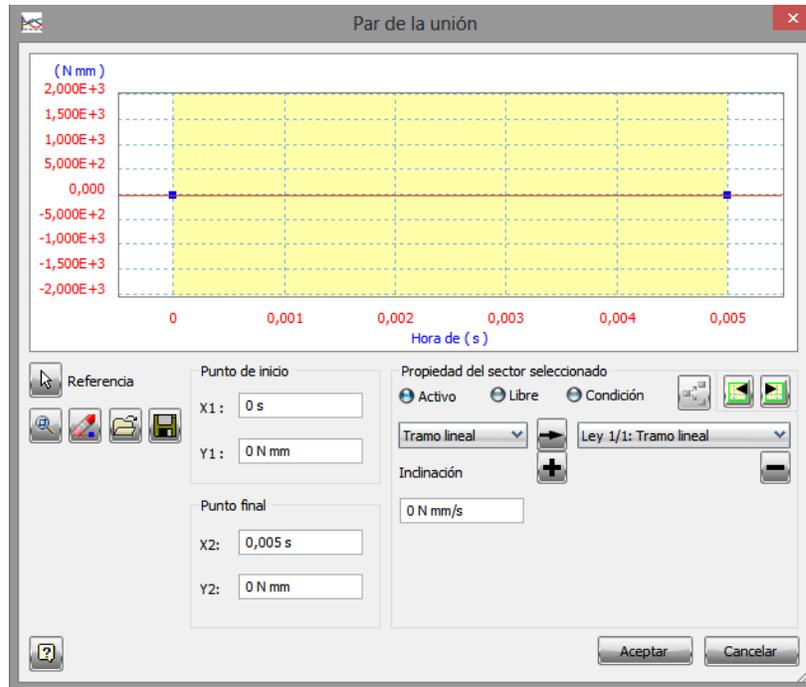


Figura 3.40 Cuadro de diálogo para insertar valor

3.6.2 AÑADIR CARGAS EXTERNAS

Una vez insertadas todas las uniones del mecanismo, podemos empezar a incluir todas las cargas externas que el diseñador considere oportunas para simular el comportamiento de dicho mecanismo.

Para introducir una fuerza o un par de torsión conocido, debemos dirigirnos, en la barra de herramientas del entorno de simulación dinámica, a los iconos situados en la pestaña “Carga” y que se indican en la Figura 3.41.



Figura 3.41 Icono de Fuerza o Par de torsión

Si pulsamos sobre el icono de “Fuerza” o “Par de torsión” se abrirá el cuadro de diálogo de la Figura 3.42. A través de él podemos seleccionar el punto de

aplicación de la fuerza, la dirección y el sentido en el que está aplicada. Además podemos definir su valor, bien sea con el módulo o con las componentes del vector.

El punto sobre el que se aplica la fuerza puede ir variando su posición a medida que se desarrolla la simulación. Para definir el comportamiento de la fuerza en este sentido tenemos los siguientes iconos:



Figura 3.42 Cuadro de diálogo del comando Fuerza



→ Fija la dirección de la fuerza o el par de torsión en el sistema de coordenadas absoluto del ensamblaje.



→ Asocia la dirección de la fuerza externa o el par de torsión con el componente sobre el que está aplicado.

Existe la posibilidad de que sobre el mecanismo actúen varias cargas simultáneamente o bien una combinación de ellas. Por ello Autodesk Inventor Professional da la posibilidad de activar y desactivar cargas por separado, incluida la gravedad. Para ello, debemos dirigirnos en el árbol a la carga externa que queremos desactivar y haciendo click sobre ella con el botón derecho del ratón, dar a la opción “desactivar”. Dicha fuerza quedará marcada con el icono en blanco y negro.

3.6.3 LANZAMIENTO DE LA SIMULACIÓN

El siguiente paso después de tener las uniones y las cargas externas definidas es lanzar la simulación. Para ello debemos dirigirnos al icono de “Simulador” que se observa en la Figura 3.43, situado en la barra de herramientas en la pestaña de “Administrar”.

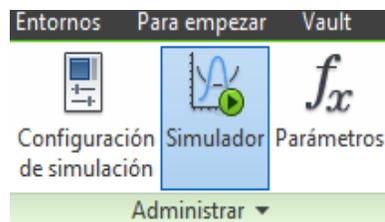


Figura 3.43 Icono de simulador

Al pulsar sobre él, se abrirá el cuadro de diálogo de la Figura 3.44, que nos permitirá establecer las condiciones de la simulación.

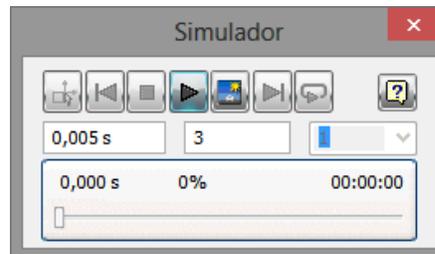


Figura 3.44 Cuadro de diálogo del simulador

 → Devuelve la simulación al modo de construcción, donde es posible modificar el modelo.

 → Retrocede la simulación.

 → Detiene la Simulación.

 → Ejecuta o vuelve a repetir la simulación.

 → Permite activar o desactivar la actualización de la pantalla durante la simulación.

 → Repite la simulación en un bucle continuo hasta que se pulsa “detener”.

→ En esta ventana podemos definir el tiempo durante el cual se desarrolla la simulación

→ Es el número de imágenes o puntos almacenados durante la simulación.

▾ → Controla el paso de visualización de fotogramas. Por ejemplo, si el valor es 1, se muestran todos los fotogramas. En cambio, si el valor es 5 se muestra un fotograma de cada cinco.

 → Estos valores muestran el desarrollo de la simulación.

3.6.4 OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS

Una vez realizada la simulación, el último paso es la visualización de los resultados. Para ello se debe hacer click sobre el icono “Gráfico de salida” que vemos en la Figura 3.45 y que se encuentra en la barra de herramientas, en la pestaña “Resultados”.

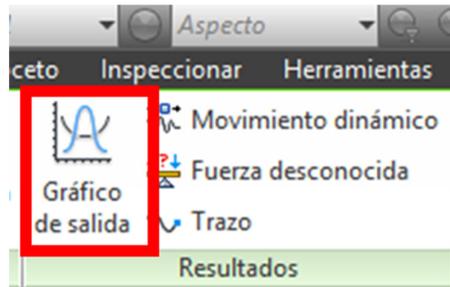


Figura 3.45 Icono de Gráfico de salida

Cuando pulsamos sobre el icono se abre la ventana de la Figura 3.46, que será donde se muestren los gráficos y valores numéricos de todas las variables de entrada y salida de la simulación. El gráfico de salida contiene una barra de herramientas, un navegador, un panel de pasos de tiempo y una ventana de gráficos.

El gráfico únicamente muestra las variables que están seleccionadas. Para seleccionar una variable, debemos ir a la unión que queremos analizar y la marcamos con un icono de verificación (). Es posible seleccionar simultáneamente diferentes variables y mostrarlas todas en el mismo gráfico, cada una con un color distinto, para comparar resultados. Además Autodesk Inventor permite al usuario exportar los datos obtenidos a Excel a través del icono  de la barra de herramientas.

Un aspecto muy importante a tener en cuenta, es que Autodesk Inventor toma el número de puntos en función de la geometría, materiales, y cargas externas aplicadas, siendo un parámetro calculado automáticamente por el software y que no puede ser cambiado por el usuario.

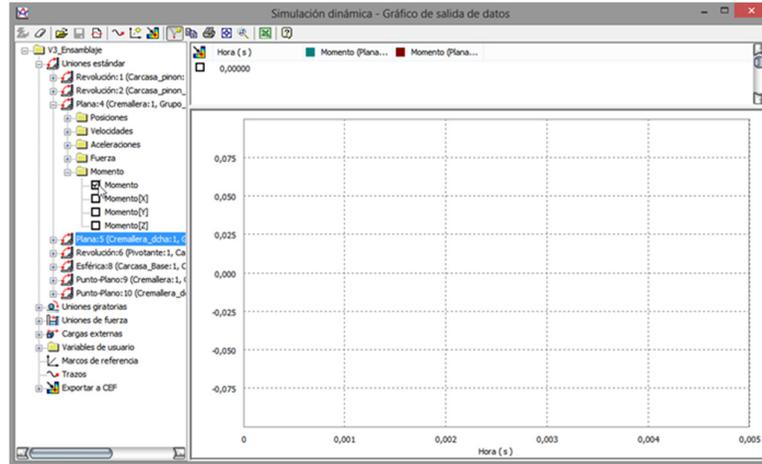


Figura 3.46 Ventana para gráficos de resultados

Pulsando con el botón derecho sobre la variable que queremos analizar, el programa da la opción de obtener las “Propiedades de la curva” que nos permite obtener la media, mediana, desviación estándar, máximos y mínimos tanto de la curva completa como la de un área en concreto (Figura 3.37).

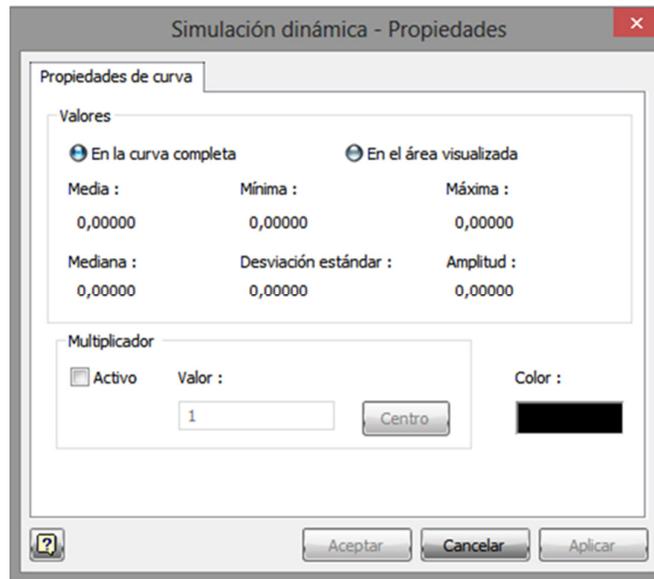


Figura 3.37 Ventana de propiedades de la curva resultado de la simulación

CAPÍTULO 4

MODELADO DE LAS PIEZAS DEL MECANISMO DE ESTUDIO

4.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se realiza una descripción, sin entrar en detalle, del proceso de modelado de cada una de las piezas que forman el mecanismo. En ella se muestran algunos de los bocetos y operaciones 3D que se han usado para el diseño, pero en el caso de que se quiera reproducir completamente el trabajo realizado, se debe recurrir a los planos incluidos en el Anexo II del TFG. El nombre asignado en el software a cada una de las piezas, es el mismo que se muestra en el Apartado 2.2.2.

4.2 ASIGNACIÓN DE MATERIAL

Para poder realizar posteriormente la simulación dinámica de forma correcta, es necesario asignar a cada elemento un material. Para las piezas que en el modelo real son de tipo metálico (motores, casquillos metálicos y ejes), en el software se las asignado como material el Aluminio. Para las piezas que en el modelo real son de tipo plástico (todas las carcasas, los piñones, las cremalleras y el pivotante), en el software se las ha asignado el mismo material: Policarbonato (PC). Se ha elegido un material que es ampliamente usado en la industria del automóvil ya que aunque es un material duro, también es elástico y posee una gran resistencia al impacto, lo que supone una gran ventaja para elementos exteriores del automóvil.

4.3 CARCASA BASE

El punto de partida de esta pieza es la creación de un boceto en el plano XZ de una circunferencia de 66,8 mm de la que posteriormente se realiza una extrusión de 9,5 mm como se ve en la Figura 4.1.

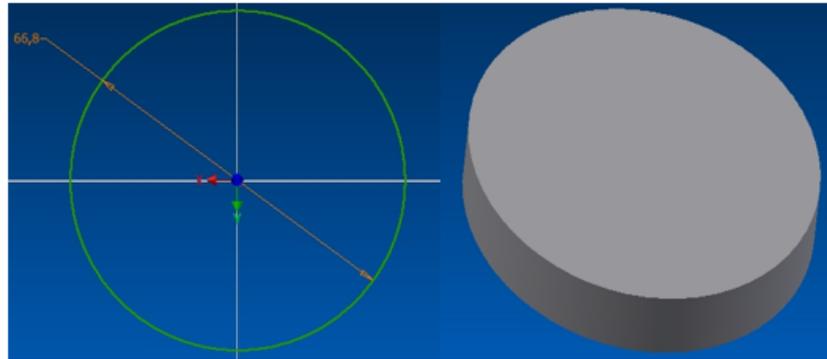


Figura 4.1 Boceto y extrusión circunferencia inicial de la carcasa base

El segundo paso es realizar un boceto sobre la cara superior del elemento creado anteriormente. En dicho boceto, en primer lugar se proyecta la geometría del elemento creado en el primer paso, algo que siempre se debe realizar con líneas de construcción (toda la geometría proyectada como se observa en la Figura 4.2 se representa de color naranja). A partir de esto se genera una circunferencia con un radio 0,7 mm menor que la proyectada. Una vez realizado este boceto, se realiza una extrusión cortando todo el sólido. El resultado se puede ver en la misma figura.

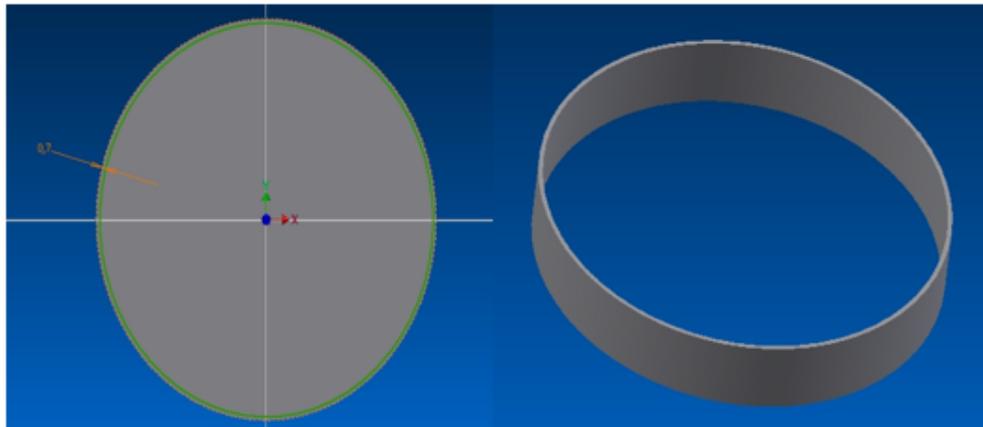


Figura 4.2 Boceto y extrusión negativa

El tercer paso es realizar un boceto en la cara inferior del elemento anterior en el cual se proyecta la geometría de la circunferencia exterior de dicho elemento. Seguidamente, se crea un plano paralelo a dicha cara inferior 3,6 mm por debajo. Sobre dicho plano se realiza un boceto con una circunferencia de 59 mm. A partir de estos dos bocetos, se crea una operación de solevación como se puede ver en la Figura 4.3.

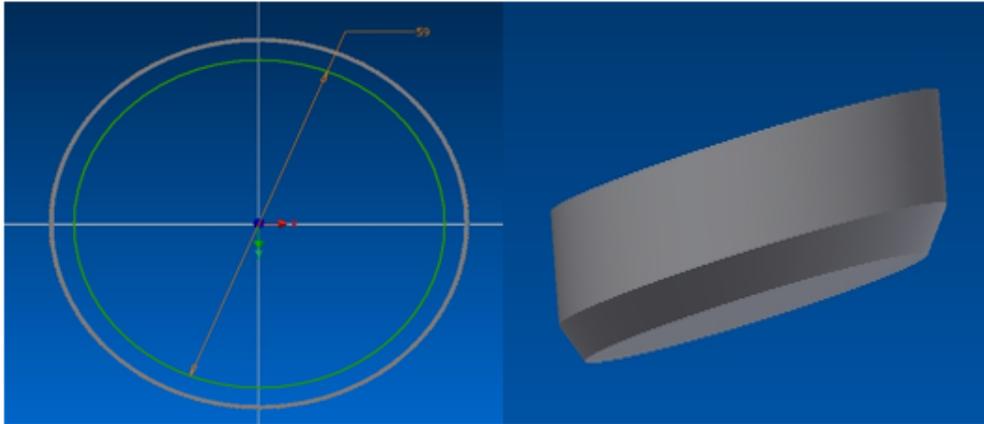


Figura 4.3 Solevación inicial de la carcasa base

El siguiente paso en la creación de esta pieza, consiste en la realización de dos bocetos muy similares a los del paso anterior, con la diferencia de que las circunferencias ahora son más pequeñas para poder realizar la parte interna de la pieza obteniendo lo que se ve en la Figura 4.4. Además, se realiza un chaflán de 1 mm en una de las aristas (marcado en la misma figura).

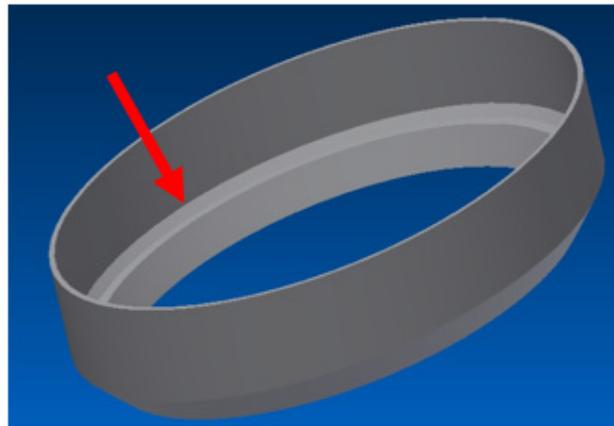


Figura 4.4 Chaflán interior

A continuación, sobre un plano paralelo al plano YZ y tangente al aro exterior de la zona superior de la pieza se realiza un boceto de una ranura como la que se ve en la Figura 4.5 cuya función es la de permitir una ligera deformación de dicho aro externo para facilitar su ensamblaje con el resto de piezas del conjunto. Una vez realizado el boceto, se realiza una extrusión en forma de corte hasta la zona del aro interior.

Finalmente se lleva a cabo un patrón circular para obtener 4 ranuras idénticas a lo largo de toda la circunferencia, resultado que se ve en la Figura 4.6.

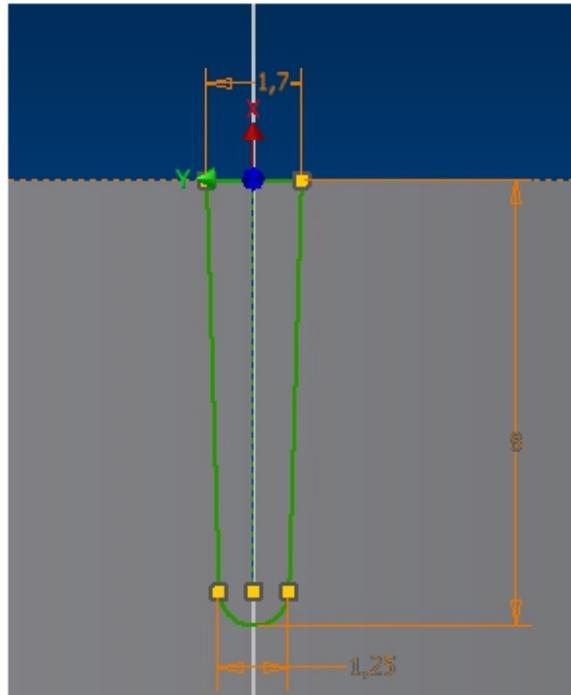


Figura 4.5 Boceto de la ranura

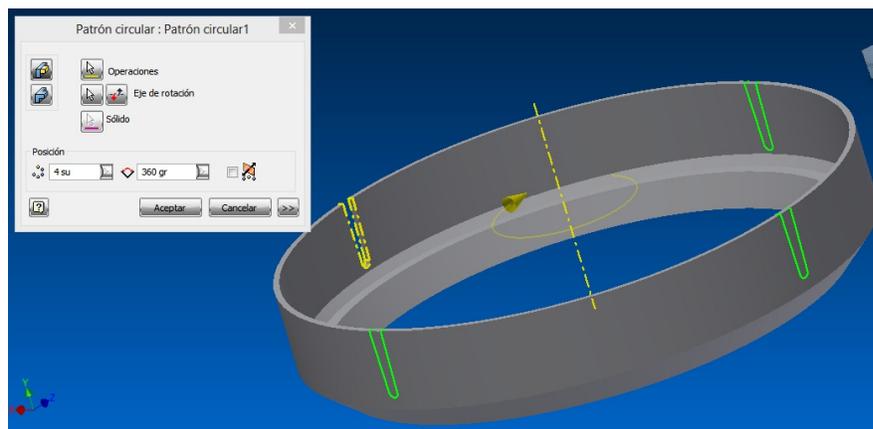


Figura 4.6 Patrón circular de la ranura

El siguiente paso es la creación de un boceto en la parte inferior de la pieza, proyectando la geometría de la misma para después realizar una extrusión de 5 mm como se observa en la parte izquierda de la Figura 4.7. Una vez hecho eso, lo siguiente es crear otro boceto sobre la superficie anterior en el que se dibuja una circunferencia que coincide con la proyección de la zona interior de la pieza para después realizar una extrusión de corte de 2 mm.

De esta manera ya se tiene la superficie base donde irán apoyadas tanto las piezas como los motores.

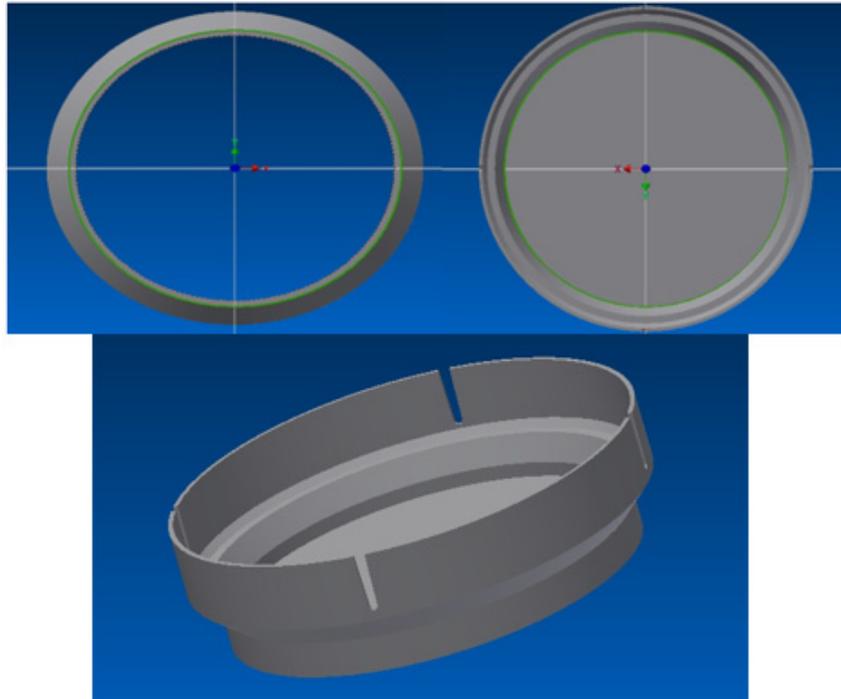


Figura 4.7 Superficie base de la pieza

A continuación, se llevan a cabo los sólidos por donde pasan los tornillos que sirven de fijación del mecanismo a la carcasa del retrovisor. Para ello se debe crear un boceto sobre la superficie base mencionada anteriormente con tres circunferencias de 9,7 mm. La posición de los centros de estas circunferencias está definida por parámetros específicos ya que deben tener unos valores establecidos para todas aquellas piezas afectadas por esos tornillos. En la Figura 4.8 se observa dicho boceto.

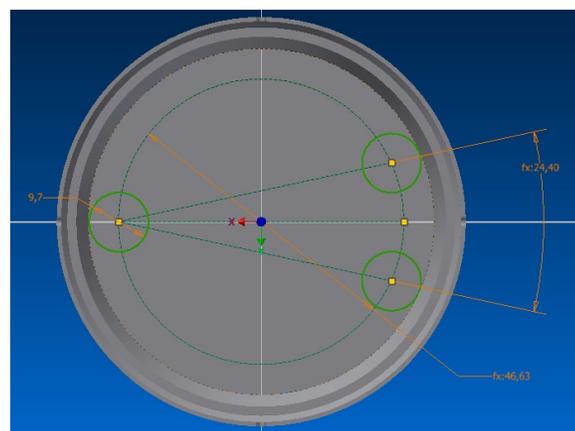


Figura 4.8 Boceto de la posición de los taladros

Llegados a este punto, se realiza una extrusión de 5,7 mm de esas circunferencias. Sobre éstas, se crea un boceto con circunferencias concéntricas de diámetro 8 mm y se hace una extrusión de 2,3 mm. Una vez

creado ese sólido, se pasa a realizar el taladro, que será concéntrico a las circunferencias y pasante. Además se trata de un taladro escariado como se ve en la Figura 4.9.

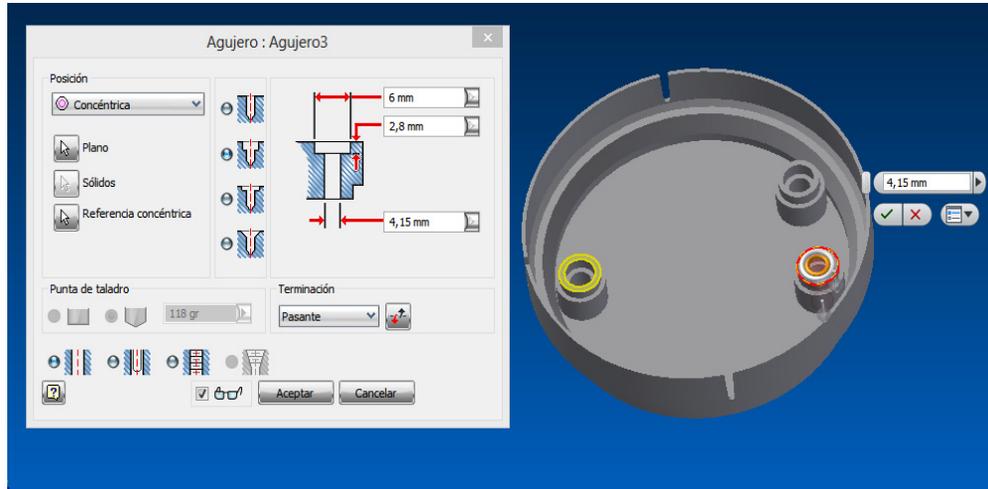


Figura 4.9 Taladros escariados

El siguiente paso es aumentar el tamaño de los taladros en la zona inferior de la pieza para permitir que los soportes de la pieza denominada “carcasa inferior”, que se verá más adelante, puedan acoplarse en ellos. Por tanto se realiza un nuevo boceto en la superficie inferior, proyectando la geometría de los sólidos creados en el paso anterior, y se dibujan unas circunferencias concéntricas de 8,4 mm. En este momento se realiza una extrusión negativa cortando material 6,3 mm. El resultado se puede ver en la Figura 4.10.

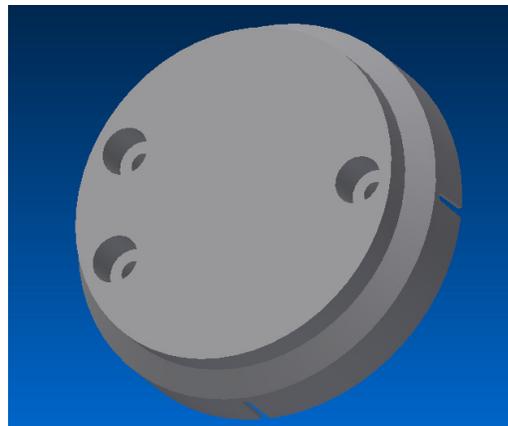


Figura 4.10 Zona inferior de los taladros

El paso siguiente en el diseño de esta pieza consiste en la realización de la zona que servirá de apoyo para la pieza “pivotante” y que divide a la superficie base en dos espacios simétricos. Para ello se crea un boceto como el que se

ve en la Figura 4.11. A partir de este boceto, se crea una extrusión de 22,5 mm como se ve en la misma figura.



Figura 4.11 Divisor de las superficies

Después de esto, se lleva a cabo una serie de bocetos y extrusiones que permiten ir conformando la geometría y espacios necesarios sobre la superficie base. Dichos espacios son necesarios para acoplar diversas piezas del mecanismo como los motores, cremalleras o las carcasas. Dichos bocetos se realizan únicamente en uno de los espacios simétricos como se ve en la Figura 4.12.

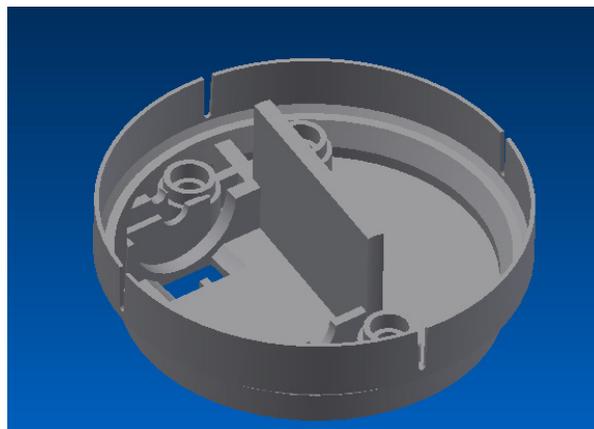


Figura 4.12 Geometría de la superficie base

Un paso interesante en la creación de esta pieza es el que se ve en la Figura 4.14. Para llegar a ello se crea el boceto de la Figura 4.13. Es decir, un perfil abierto, el cual al realizar una extrusión se convierte en una superficie la cual sirve para cortar el sólido creado en el paso anterior. Es necesario realizar ese corte ya que de no hacerlo, el “pivotante” colisionaría con ese sólido impidiendo su movimiento.

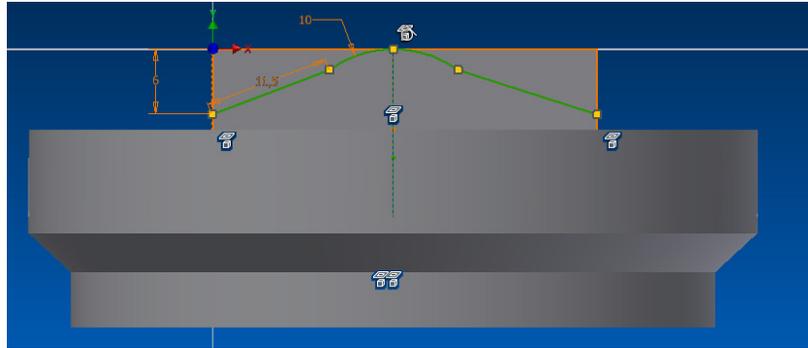


Figura 4.13 Boceto de la superficie

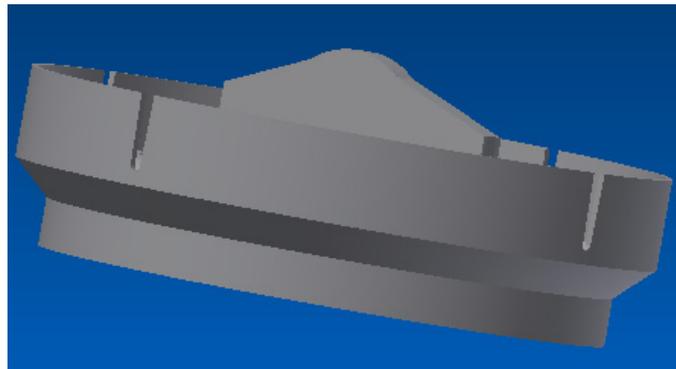


Figura 4.14 Resultado del corte con la superficie

Uno de los últimos pasos es la creación del boceto de la Figura 4.15 que corresponde a la pestaña donde encaja el “pivotante”. Esta pestaña además sirve de punto fijo a partir del cual dicha pieza realiza un movimiento de balancín. Igual que la geometría anterior, la extrusión se realiza en un solo lado.

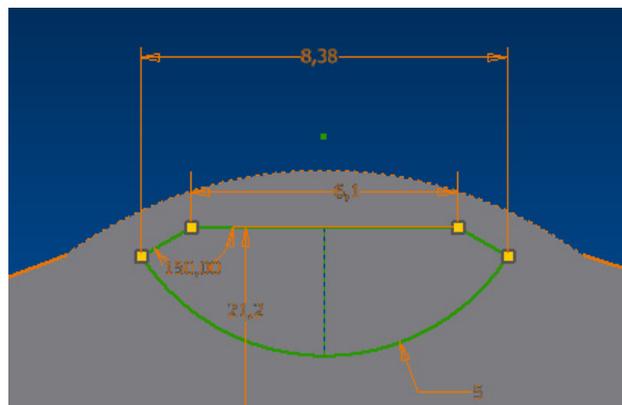


Figura 4.15 Boceto de la pestaña

El penúltimo paso es realizar una simetría de la geometría y espacios creados sobre la superficie base, así como de la pestaña creada en el paso anterior. El plano de simetría seleccionado es el plano XY como se ve en la Figura 4.16.

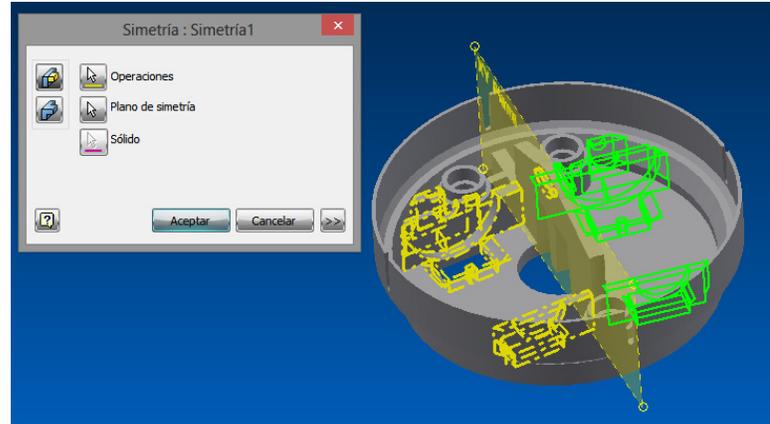


Figura 4.16 Simetría de la geometría

El último punto en el desarrollo de esta pieza es la creación de un boceto y su posterior extrusión en la superficie inferior (Figura 4.17), que sirve de tope donde apoya la “carcasa inferior” dejando un espacio libre para que las grapas de la “carcasa superior motores” pueda quedar anclada a esta “carcasa base”.

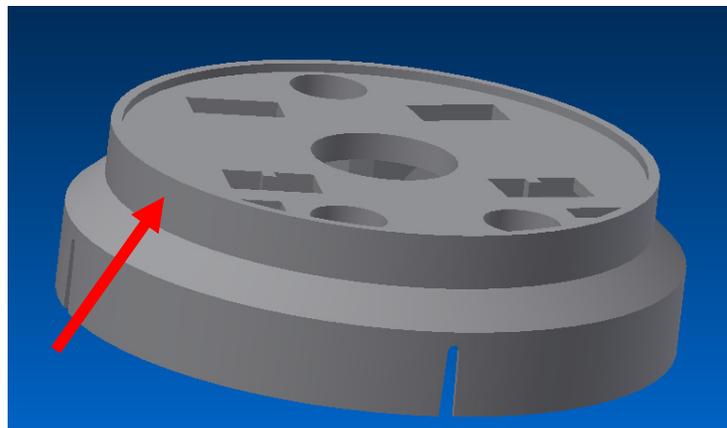


Figura 4.17 Tope inferior de la carcasa base

4.4 MOTORES

En el modelo real, los motores están formados por la combinación de dos sólidos de distintos materiales. Pero debido a que la diferencia de las propiedades mecánicas, necesarias para la simulación, como por ejemplo la masa del elemento diseñado, apenas varían, se optó por dibujar la pieza de un solo material.

El punto de partida de este elemento, es la creación del boceto que se ve en el lado izquierdo de la Figura 4.18 sobre el plano XY del triedro. A partir de él se realiza una extrusión de 19,3 mm para formar el cuerpo que se observa a la

derecha de la misma figura y que en el modelo físico real sería la parte metálica del motor.

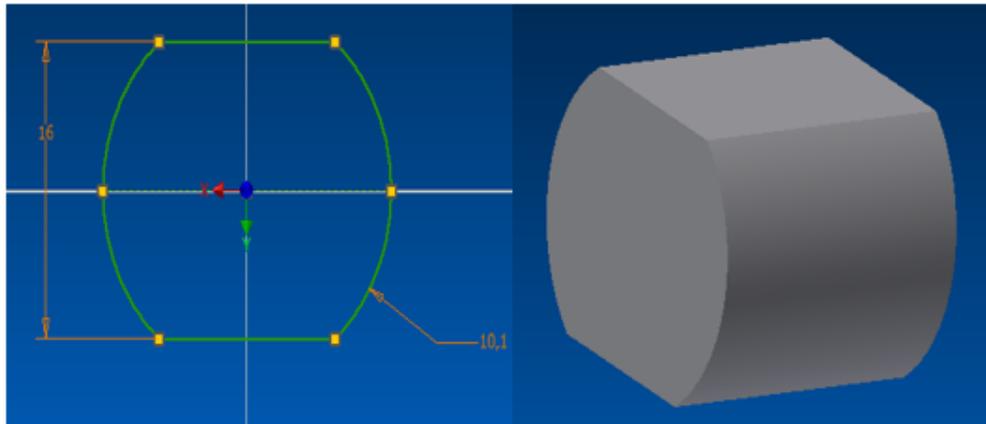


Figura 4.18 Boceto y extrusión inicial del motor

Posteriormente, se crea otro boceto en la parte trasera del sólido anterior con una geometría idéntica a la del anterior paso con la finalidad de crear la parte plástica del motor. En este boceto, para no volver a usar cotas y tenerlo vinculado, se proyecta la geometría del boceto anterior y se establecen restricciones de igualdad. El resultado se puede ver en la Figura 4.19.

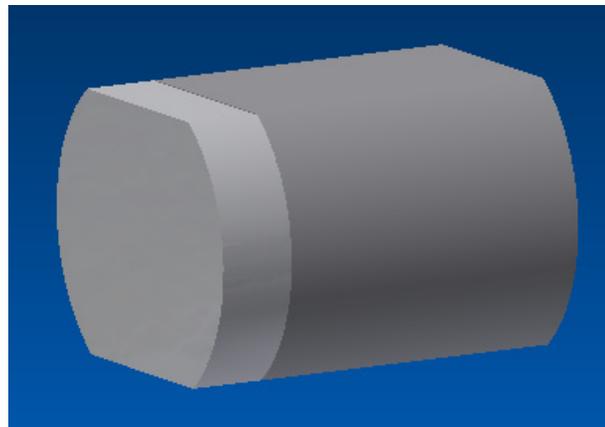


Figura 4.19 Distintas partes del motor

El tercer paso es la creación de la pestaña que se ve en la Figura 4.20 y que está situada en la zona inferior de la pieza. Dicha pestaña sirve para encajar el motor sobre la “carcasa base” además de ser el punto donde llegan los terminales que suministran la electricidad a los motores. En el modelo real estos terminales se unen por soldadura por medio de la fusión del plástico.

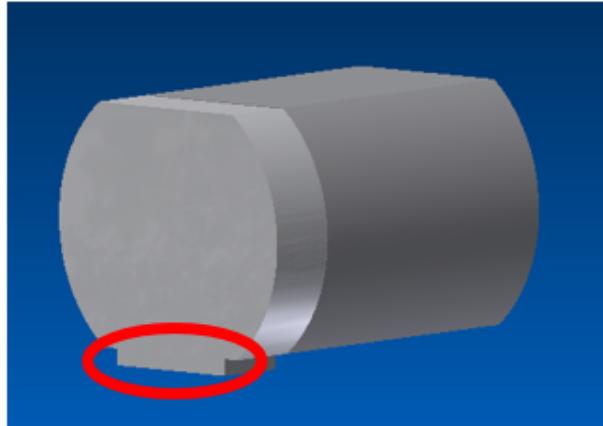


Figura 4.20 Pestaña para terminales eléctricos

El siguiente paso es la creación de los apoyos delantero y trasero de los motores sobre la “carcasa base”, que además sirven de salida para los “ejes de los motores”. Los bocetos que se usan son los que se ven en la Figura 4.21, en la zona superior. El resultado de este paso se ve en la misma imagen, en la zona inferior.

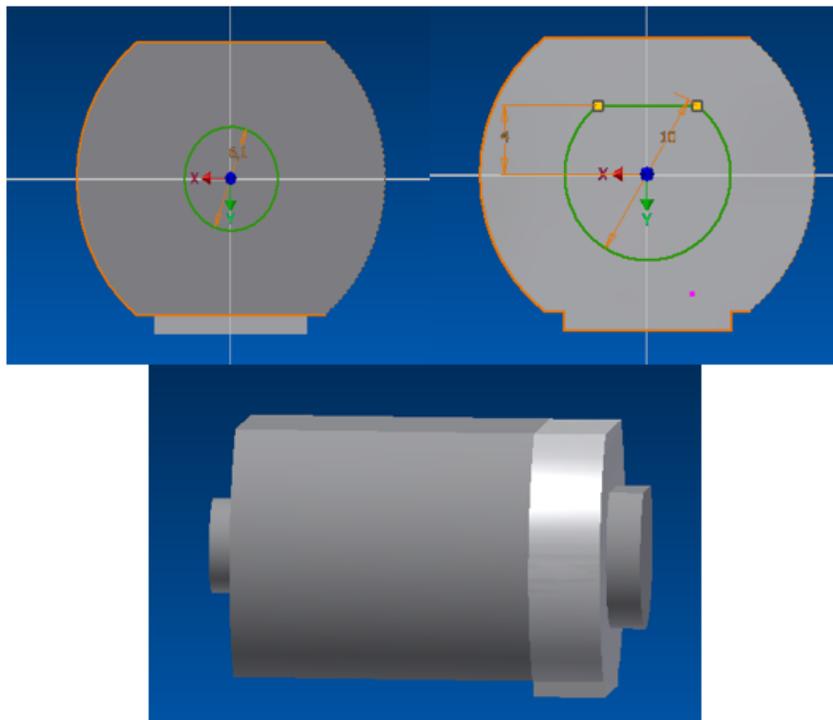


Figura 4 21 Pestaña apoyo motor

Una vez hecho esto, el siguiente paso en el modelado de los motores es la realización de un taladro de diámetro 1,95 mm pasante a toda la pieza, como se ve en la Figura 4.22. Dicho taladro servirá de alojamiento para el “eje motor”.

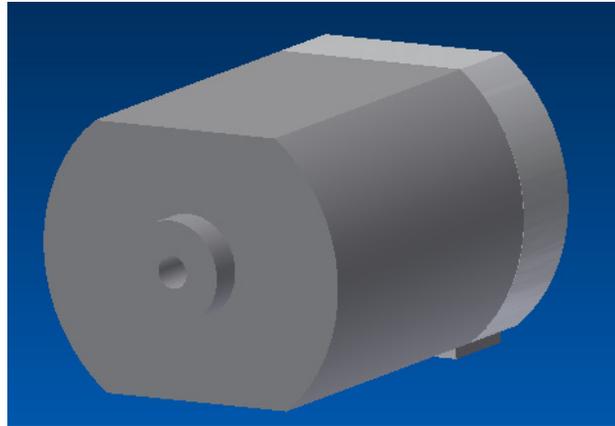


Figura 4.22 Taladro pasante

Posteriormente, se diseñan los rebajes en la zona trasera de la pieza para evitar colisiones con una de las carcasas en el momento de ensamblar el conjunto. El boceto únicamente son dos circunferencias de 2,5 mm de diámetro a cada lado del sólido, quedando como resultado lo que se observa en la Figura 4.23.

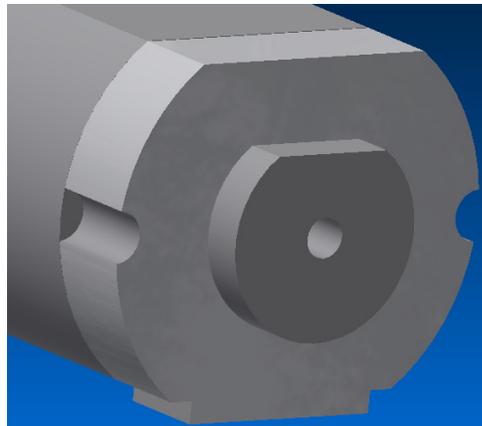


Figura 4.23 Rebajes laterales del motor

El último paso es la combinación de los sólidos en un solo cuerpo. Además se realiza un empalme en la pestaña inferior para favorecer el montaje del motor. El diseño final de la pieza se puede ver en la Figura 4.24.

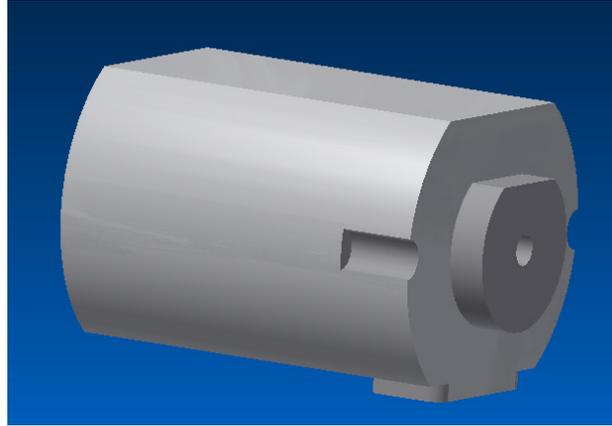


Figura 4.24 Motor Completo

4.5 EJES DE LOS MOTORES

El diseño de esta pieza es bastante sencillo. Se realiza el boceto de una circunferencia de 1,95 mm de diámetro sobre el plano XY. Posteriormente se realiza una extrusión a este boceto de 30,3 mm quedando el resultado que se ve en la Figura 4.25.

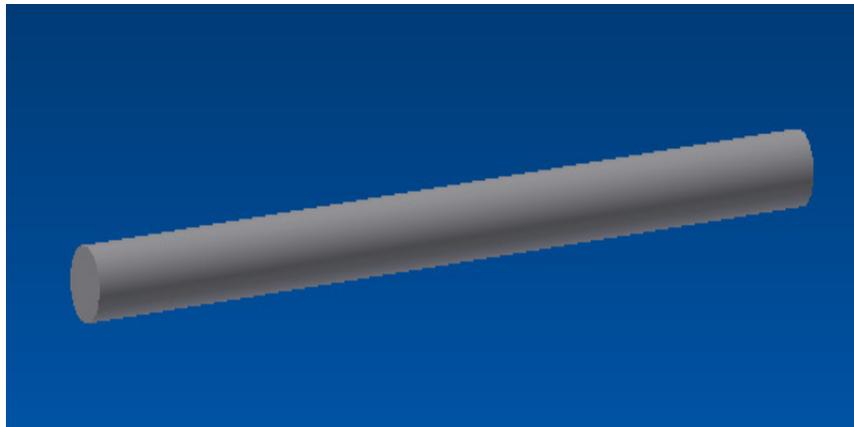


Figura 4.25 Extrusión para obtener el cilindro cuerpo del eje

El siguiente paso es la creación de la pestaña que sirve para encajar y transmitir el movimiento de rotación desde el eje hacia el piñón. El boceto se crea sobre una de las caras normales al eje del cilindro creado en el paso anterior. Dicho boceto se puede ver en la Figura 4.26.

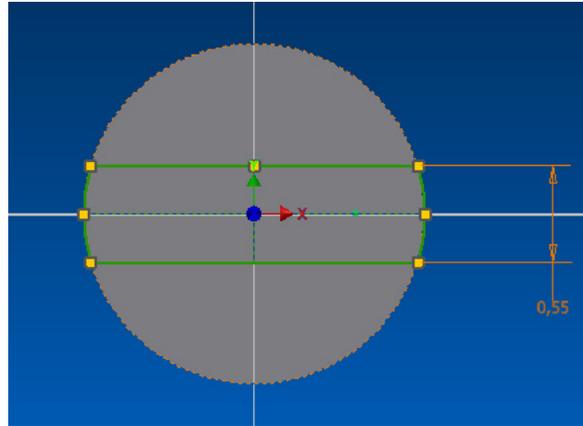


Figura 4.26 Boceto de la pestaña

Posteriormente, se realiza una extrusión de 1,7 mm y se crean empalmes para redondear las aristas de la pieza cuya función es favorecer el montaje. El resultado final de la pieza puede verse en la Figura 4.27.

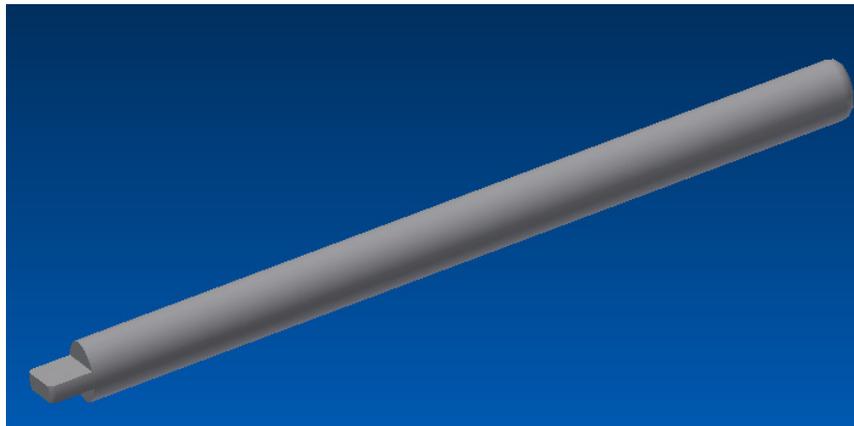


Figura 4.27 Eje del motor completo

4.6 PIÑONES

Esta pieza, junto a la cremallera que se verá más adelante, se modela con especial cuidado, ya que de su correcto diseño depende que el mecanismo del retrovisor se mueva de forma correcta. El piñón que gira de forma solidaria al eje, el cual es impulsado por el motor, debe transmitir el movimiento a la cremallera por medio del engrane de los dientes tallados sobre ambos.

El primer paso en el diseño de esta pieza, es la creación de un boceto en el plano XY de una circunferencia de 21,5 mm de diámetro. Una vez hecho, la extrusionamos 2,32 mm. El resultado se puede ver en la Figura 4.28.

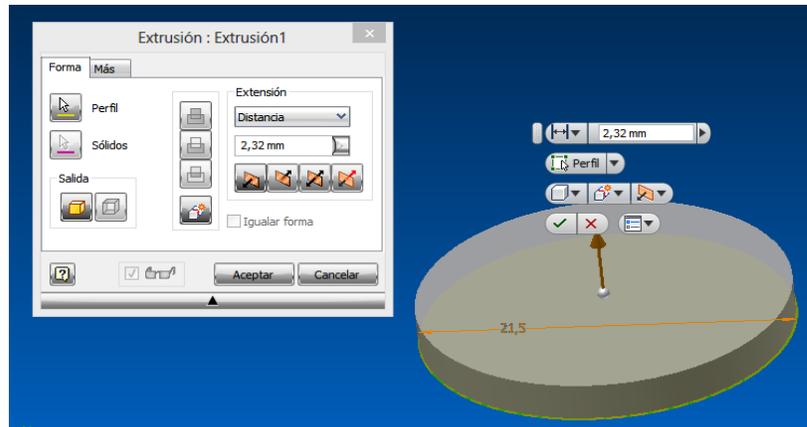


Figura 4.28 Cilindro inicial

A continuación se crea un boceto en la superficie inferior del elemento modelado en la figura 5.28. Dicho boceto consiste en una circunferencia concéntrica a la del elemento anterior, cuya geometría está proyectada. El diámetro de esta nueva circunferencia es de 16,34 mm. Posteriormente se realiza una extrusión de 2,34 mm como se ve en la Figura 4.29.

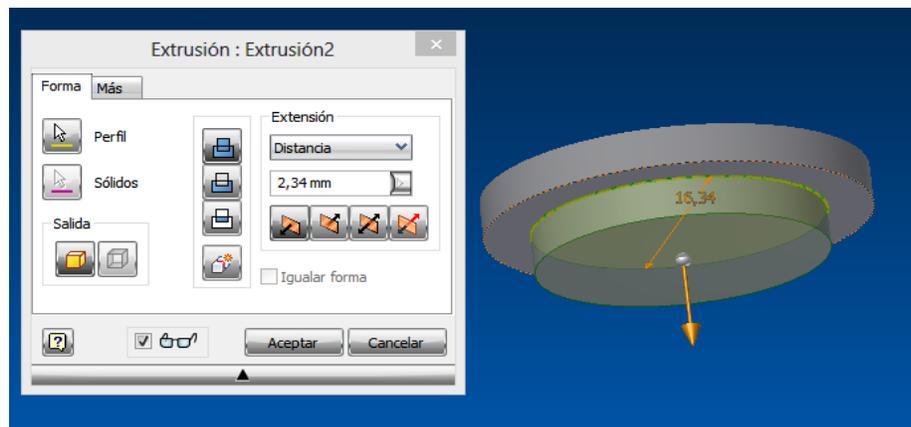


Figura 4.29 Circunferencia concéntrica

Tras una serie de bocetos y extrusiones (ya sea añadiendo material o eliminándolo) de circunferencias concéntricas a las anteriores y de distintos diámetros, el modelo al que se llega se puede observar en la Figura 4.30.

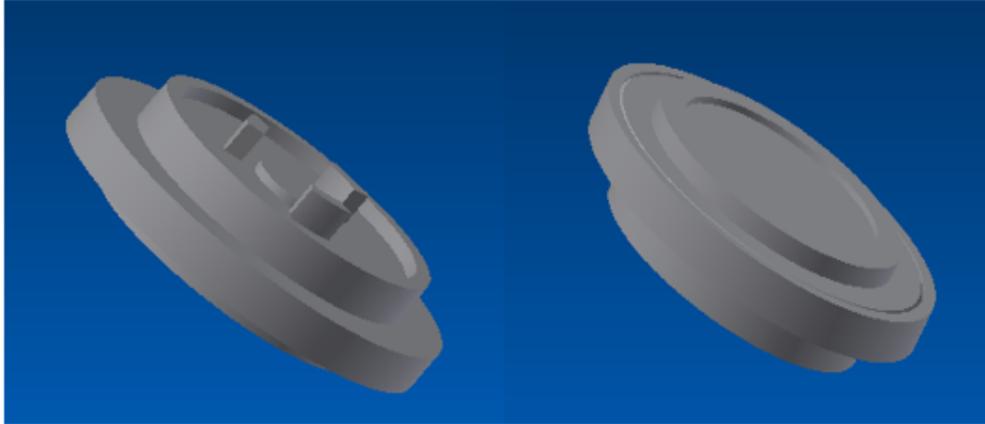


Figura 4.30 Base del piñón

El siguiente paso es el diseño de una ranura en cruz en la que irá encajado el eje del motor, y que permite al piñón girar solidario a él. El boceto para llevar a cabo dicha ranura, y que está realizado sobre uno de los elementos creados en el paso anterior, consiste en lo que se indica en la Figura 4.31. Tras tener el boceto completamente restringido, se realiza una extrusión negativa eliminando 1,77 mm de material.

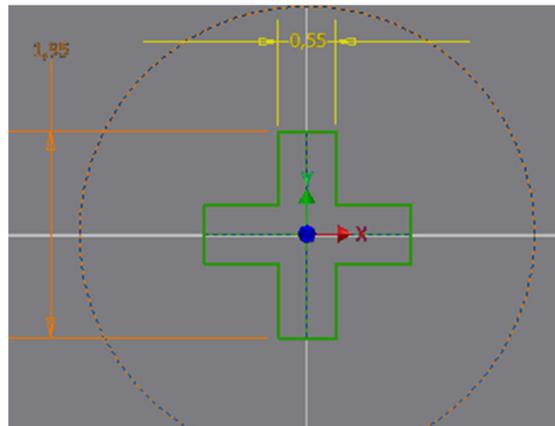


Figura 4. 31 Boceto de la ranura

El paso posterior es el modelado de la zona cilíndrica, que se ve en la Figura 4.32, y en la que posteriormente se tallarán los dientes del piñón. Dicha zona cilíndrica está compuesta por dos tramos de distintos diámetros y longitudes. El primero de ellos tiene un diámetro de 4,77 mm, que coincide con el parámetro “Diámetro externo” de los dientes, y está extrusionado 6,1 mm. El segundo tramo tiene un diámetro de 2,71 mm, medida que coincide con el parámetro “Diámetro interno” de los dientes del piñón, y está extrusionado 2,95 mm.

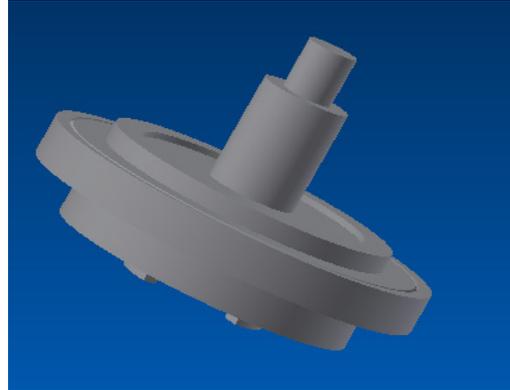


Figura 4. 32 Zona cilíndrica que es base de los dientes

La parte más delicada en el modelado de este elemento, es el tallado de los dientes que posteriormente engranarán con la cremallera. El valor de los parámetros característicos de su diseño, como por ejemplo, el “Diámetro externo” y el “Diámetro interno” así como también el “Módulo” y la “Altura del diente” está justificado en el capítulo 6 de este TFG. Aquí únicamente nos centraremos en el proceso de su diseño.

Para llevar a cabo dicho diseño se crea un nuevo ensamblaje y en él se inserta el sólido que se había realizado hasta la ejecución de este paso. Una vez dentro del entorno de ensamblaje, hay que dirigirse a la pestaña de “Diseño”, en el apartado “Transmisión de potencia” y pulsar sobre el icono “Engranaje recto”



Al pulsar el icono se abre el cuadro de diálogo que se observa en la Figura 4.33.

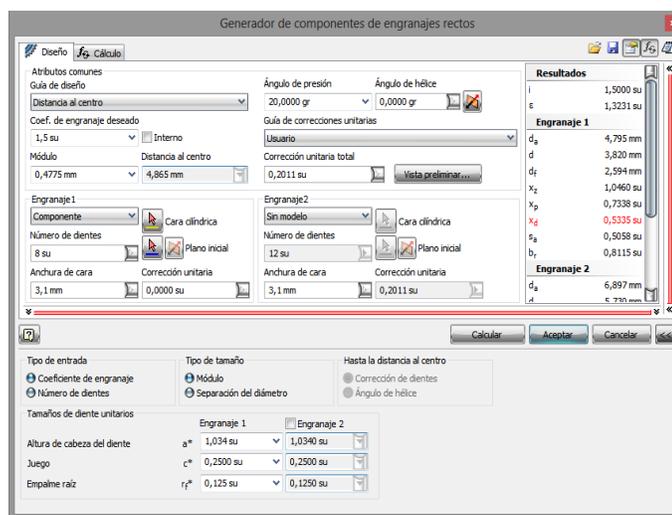


Figura 4. 33 Cuadro de diálogo para el tallado de los dientes

En ese cuadro de diálogo se introducen los valores que solicita el programa para el diseño de los dientes, incluyendo también la superficie sobre la que están tallados. Autodesk Inventor, además del diseño de dichos dientes o de un engranaje completo, permite crear el conjugado a los mismos. Pero en este caso no se usará esa opción, por lo que en el apartado de “Engranaje 2” se marcará la opción “Sin modelo”.

Una vez introducidos todos los valores, pulsamos sobre aceptar y el resultado es el que se ve en la Figura 4.34.



Figura 4.34 Piñón Completo

Por último, se realiza un redondeo de las aristas de la cabeza de los dientes con un radio de 0,14 mm.

4.7 CARCASA SUPERIOR DE LOS MOTORES

Para el diseño de esta pieza se hace uso del apartado de superficies que incluye el software Autodesk Inventor Professional. Todas las herramientas usadas se encuentran en la pestaña de “Modelado 3D” en el apartado de “Superficies”.

Se empieza realizando un boceto en el plano XY como el que se ve en la parte superior de la Figura 4.35, después en un plano paralelo, a una distancia de 35,45 mm se lleva a cabo el boceto de la zona inferior de la imagen.

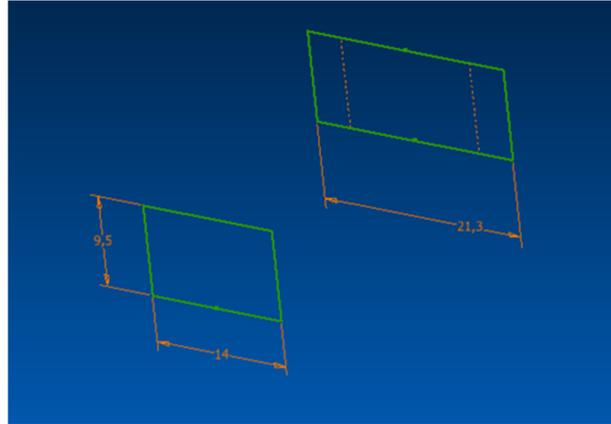


Figura 4.35 Boceto inicial para la Carcasa superior de los motores

Con ambos bocetos se realiza una Solevación marcando la casilla de “Raíles” como se ve en la Figura 4.36, y señalando que la geometría que se desea obtener es una superficie y no un sólido.

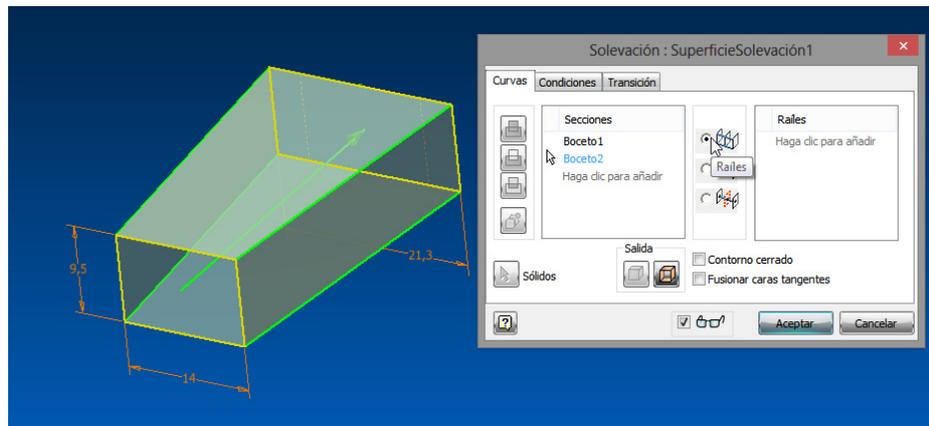


Figura 4.36 Solevación de los bocetos

Para cerrar el cuerpo que se ha creado, se pulsa sobre el icono “Superficie de contorno” (). Una vez pulsado debemos señalar los bocetos que se han realizado anteriormente y que vemos en color amarillo en la Figura anterior. El resultado de esta operación lo vemos en la Figura 4.37.

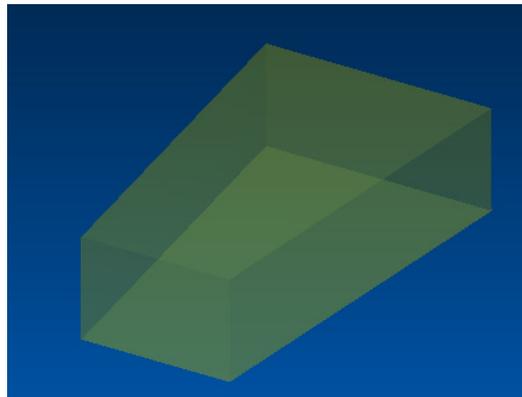


Figura 4.37 Cuerpo completamente cerrado

Una vez hecho esto, en la superficie delantera de la pieza, se crea el boceto de una semicircunferencia de diámetro 21,3 mm como vemos en la Figura 4.38. Después de tener el boceto, se realiza una extrusión del mismo en dos direcciones pero de forma asimétrica y el cuerpo que queda como resultado lo cerramos de nuevo con “Superficies de Contorno”.

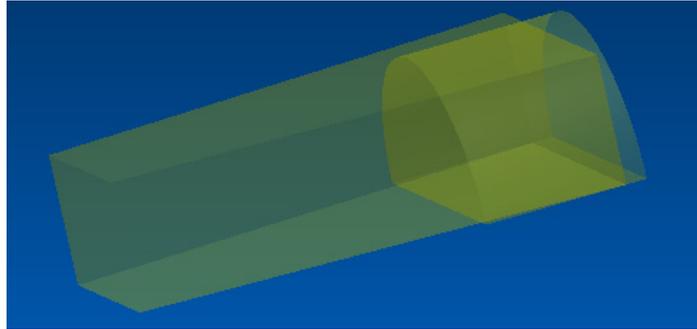


Figura 4.38 Superficie frontal de la pieza

La siguiente operación sirve para recortar los excesos de superficie creados para ir dando forma a la pieza. Para ello se debe pulsar sobre el icono “Recortar Superficies” (). El resultado podemos verlo en la Figura 4.39.

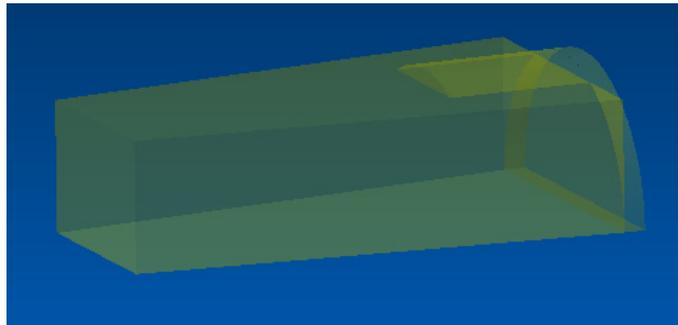


Figura 4.39 Recorte de las superficies sobrantes

Una vez recortadas las superficies, se procede a la unión de las mismas. Dicha unión se realiza a través del comando “Coser superficie”. Al pulsar se abre un cuadro de diálogo que nos solicita las superficies que deseamos coser y la tolerancia permitida para poder cerrar el cuerpo. El resultado lo podemos ver en la Figura 4.40.

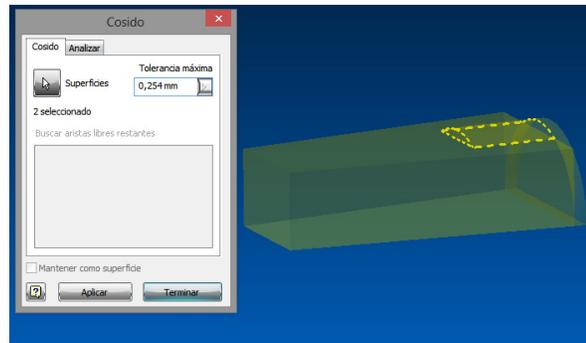


Figura 4.40 Cosido inicial del cuerpo

Tras diversas operaciones de “Recorte de superficies” y de “Coser superficies” logramos la forma final del sólido que podemos ver en la Figura 4.41. Una vez cerrado y cosido todo el cuerpo, Autodesk Inventor Professional genera automáticamente el cuerpo sólido encerrado en el volumen definido por todas las superficies cosidas.

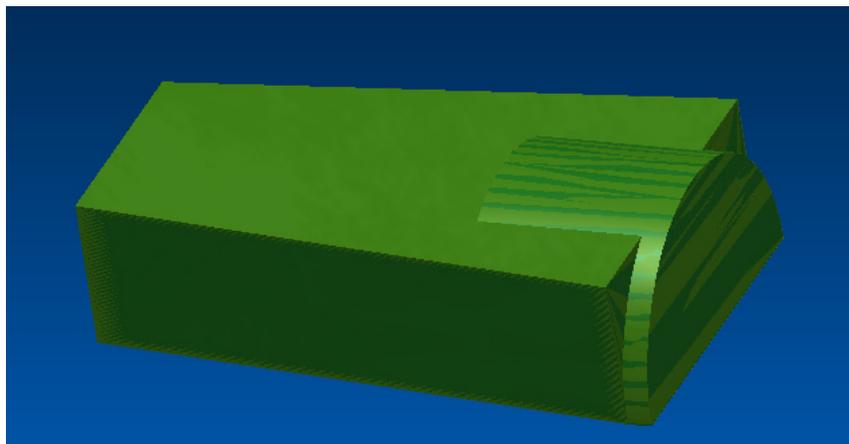


Figura 4.41 Generación automática del cuerpo sólido

Una vez tenemos cuerpo sólido, el siguiente paso en el desarrollo de esta pieza es aplicar un ángulo a las caras laterales de las piezas. Para ello debemos dirigirnos en el apartado “Modelo 3D”, en la pestaña “Modificar”, al icono “Ángulo de desmoldeo”



Al pulsarlo se abre el cuadro de diálogo que vemos en la Figura 4.42.

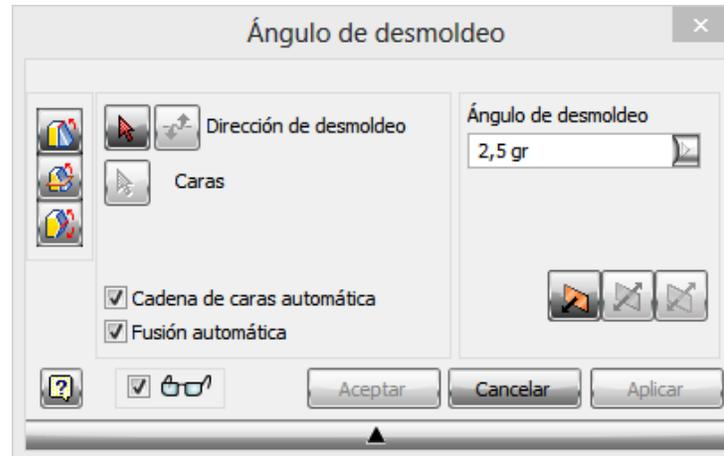


Figura 4.42 cuadro de diálogo del comando Ángulo de desmoldeo

Para llevar a cabo esta operación, el software solicita los siguientes datos:

- **Dirección de desmoldeo:** indica la dirección desde la que se realiza el desmoldeo de la matriz de una pieza. El usuario debe seleccionar un vector que indique dicha dirección.
- **Plano fijo:** especifica la cara plana o el plano de trabajo desde el que se desmoldan las caras seleccionadas. Para este ejemplo, el plano fijo es la superficie inferior del elemento creado en el paso anterior.
- **Caras:** Se deben especificar las caras o aristas para el desmoldeo. Para el desarrollo de esta pieza, las caras seleccionadas son las laterales.
- **Ángulo de desmoldeo:** Define el valor del ángulo de desmoldeo, que para el caso de esta pieza es de 8°.

Una vez indicados todos los datos, se debe pulsar el icono de Aceptar y el resultado puede verse en la Figura 4.43.

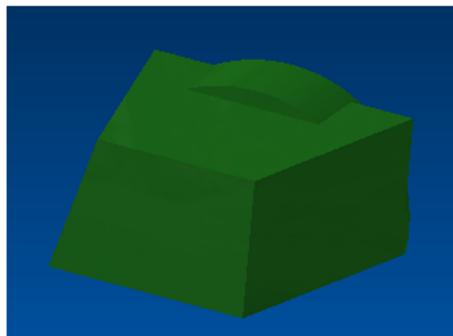


Figura 4.43 Resultado del ángulo de desmoldeo

Posteriormente se realiza el vaciado del sólido que vemos en la Figura 4.44 que se realiza a través de la operación “Vaciado”. Dicha operación se encuentra en el apartado “Modelo 3D”, en la pestaña “Modificar”. El espesor seleccionado para el vaciado es de 2,35 mm.

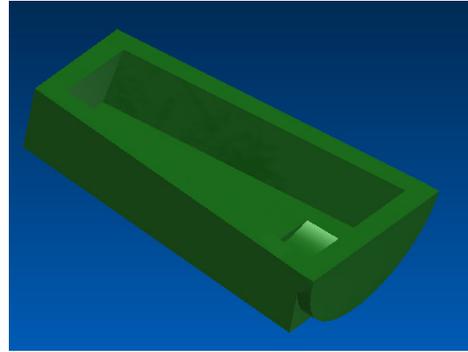


Figura 4.44 Resultado del vaciado

A través de una serie de bocetos como el que vemos en la parte superior de la Figura 4.45, y extrusiones negativas eliminando material, se llega a lo que vemos en la parte inferior de la misma figura. Además en la parte superior de la pieza, se crea una pestaña en la que encajará la “Carcasa del piñón”.

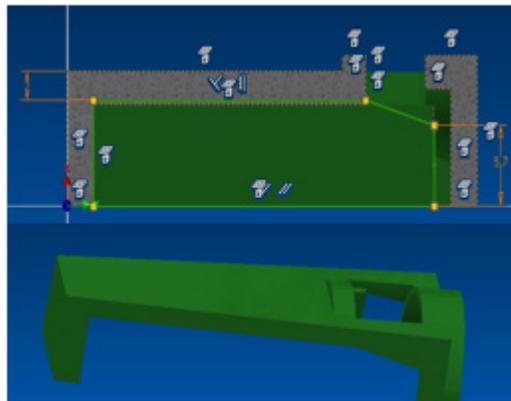


Figura 4.45 Extrusión negativa inferior

Llegado este punto, se comienza a modelar la parte delantera de la pieza que servirá de apoyo al eje del piñón y será donde va alojada la cremallera del mecanismo. El resultado de algunos bocetos y operaciones de modelado 3D es el que vemos en la Figura 4.46.

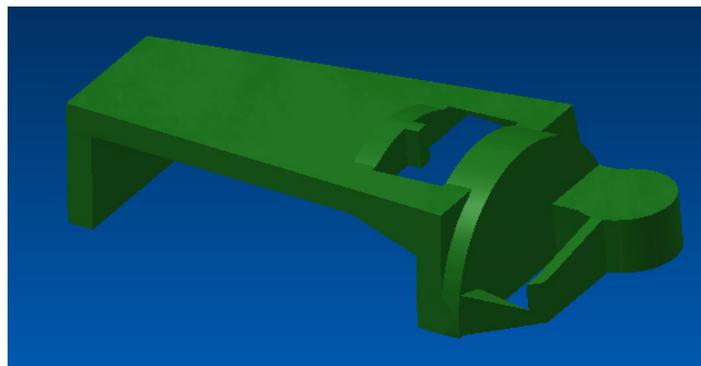


Figura 4.46 Modelado de las pestañas frontales

El siguiente paso es el diseño del elemento que conectará las dos partes simétricas de la pieza. Para ello, en primer lugar, se crean dos bocetos 2D que son las vistas en proyección de lo que será la trayectoria de un barrido. Una vez hecho esto se realizará una combinación de ambos bocetos, lo que generará un segmento 3D como el que vemos en naranja en la Figura 4.47.

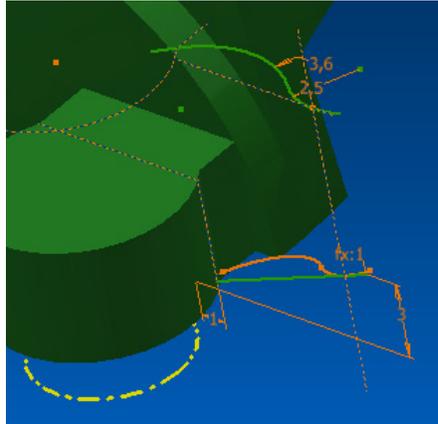


Figura 4.47 Bocetos y trayectoria 3D

Una vez generada la trayectoria, se crea el perfil de barrido que consiste en un rectángulo de dimensiones 3x1.2 mm. La opción seleccionada para el tipo de ruta es la de planos paralelos, ya que de esta forma se podrá usar la superficie que queda al final de dicho barrido como plano de simetría. El resultado de esta operación es el que vemos en la Figura 4.48.

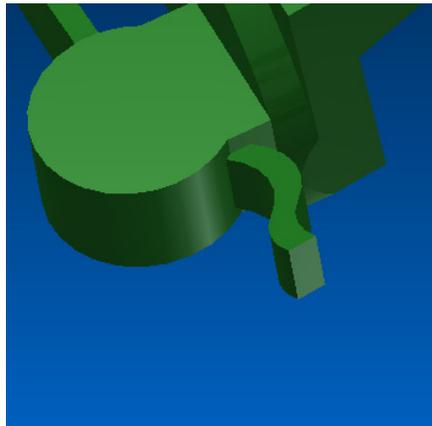


Figura 4.48 Pieza que conecta los dos lados simétricos

El siguiente paso es la creación de los orificios que vemos en la Figura 4.49, a través de los cuales girarán el eje del motor y el piñón.

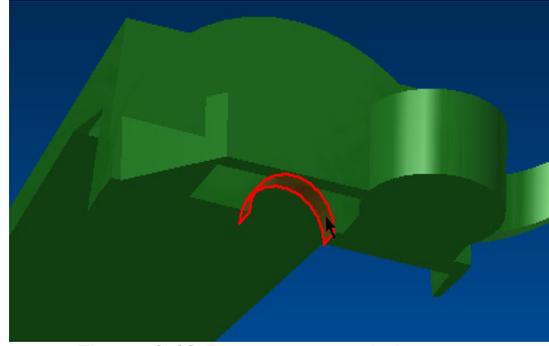


Figura 4.49 Ranuras para el eje motor

Una vez hecho esto se procede al diseño de los cilindros a través de los cuales se introducirán las piezas de los “Pasadores metálicos” que veremos en un apartado posterior. Estos elementos posibilitan el correcto posicionamiento de la pieza en el conjunto.

Tanto la parte externa como la parte interna de este elemento están realizados mediante una elevación ya que el diámetro en la zona superior es mayor que en la zona inferior. El resultado es el que vemos en la Figura 4.50.

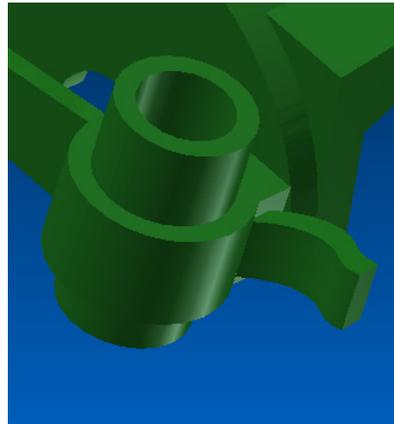


Figura 4.50 Solevación cilíndrica

Posteriormente se realizan los redondeos y chaflanes necesarios en la pieza como vemos en la Figura 4.51.

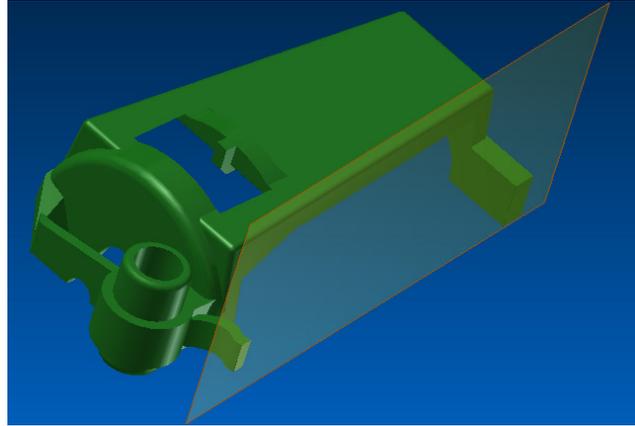


Figura 4.51 Resultado final de uno de los lados y plano de simetría

Finalmente, se impone la simetría de toda la pieza a través del plano que vemos en la Figura 4.51 anterior quedando como resultado el sólido completo tal y como se puede ver en la Figura 4.52.

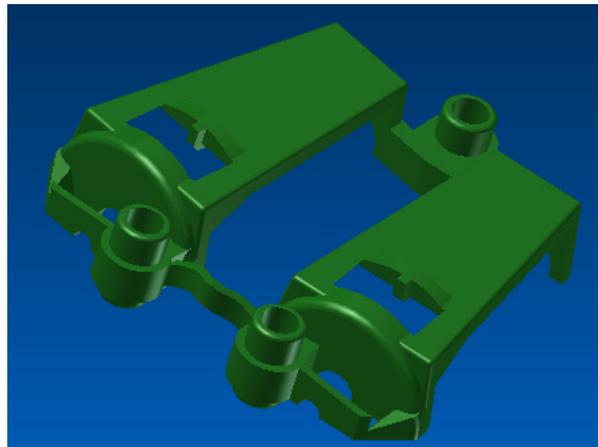


Figura 4.52 Resultado final de la Carcasa de los motores

4.8 CARCASA DEL PIÑÓN

El primer paso en el diseño de esta pieza fue la extrusión del boceto de una circunferencia de diámetro 21,5 mm como vemos en la Figura 4.53.

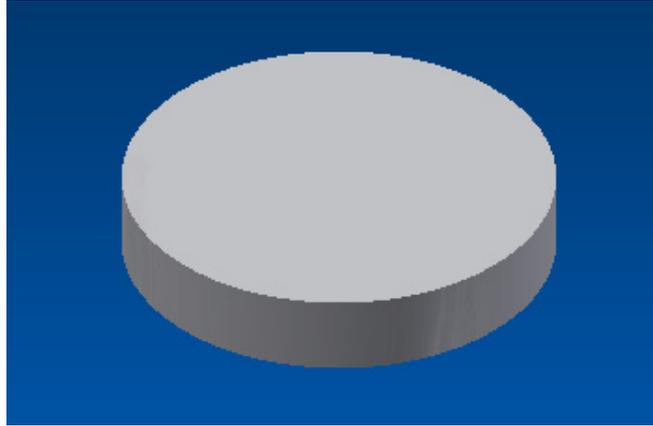


Figura 4.53 Cilindro inicial

A este elemento, posteriormente se le realizan una serie de extrusiones negativas eliminando material de circunferencias de distintos diámetros. El resultado es el que vemos en la Figura 4.54.

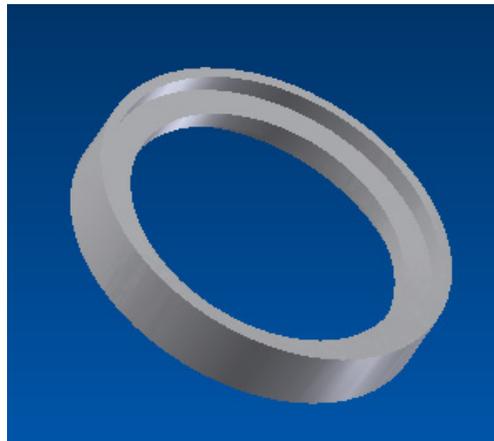


Figura 4.54 Extrusiones negativas para eliminar material

Posteriormente se realizan los rebajes necesarios que mencionamos en el diseño de la pieza “Carcasa superior de los motores”, para hacer posible el ensamblaje de ambos elementos. Dichos rebajes se pueden ver en la Figura 4.55.



Figura 4.55 Rebajes carcasa del piñón

El último paso en el desarrollo de esta pieza, es la creación de las pestañas que permiten fijar la posición de la pieza para impedir que esta gire solidaria al piñón.

Para ello, en la pestaña de “Modelo 3D”, en el apartado de “Pieza de Plástico” debemos pulsar sobre el icono . Una vez pulsado se abre el cuadro de diálogo que vemos en la Figura 4.56, el cual debemos rellenar con las dimensiones y orientación de la pestaña que se desea crear.



Figura 4.56 Creación de una pestaña plástica

Una vez rellenamos todos los campos correctamente pulsamos en aceptar. Se necesitan varias pestañas iguales por lo que se realiza una serie de simetrías de las mismas. El resultado es el que vemos en la Figura 4.57.



Figura 4.57 Resultado final Carcasa del piñón

4.9 CREMALLERA

Como mencionamos en el Apartado 4.6, esta pieza, junto al piñón, se debe modelar con especial cuidado ya que el conjunto piñón-cremallera genera el movimiento del retrovisor. El piñón transmite el movimiento a la cremallera haciendo que ésta ascienda y descienda moviendo de esta manera el espejo a la posición que requiere el conductor.

Para el diseño de los dientes de la cremallera nos apoyamos en la geometría del piñón como vemos en la Figura 4.58.

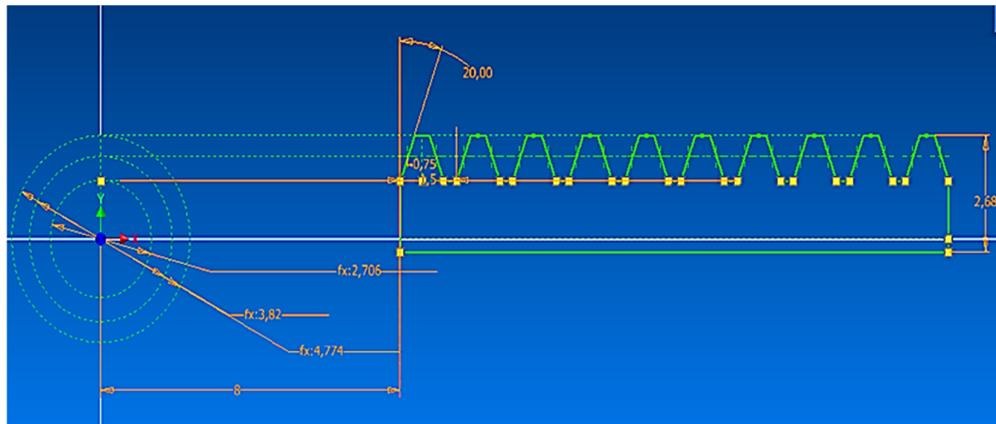


Figura 4.58 Boceto inicial de la cremallera

Una vez creado dicho boceto se realiza una extrusión del mismo con una longitud de 2,8 mm. Posteriormente se realizan una serie de bocetos y extrusiones cuyo resultado se muestra en la Figura 4.59.

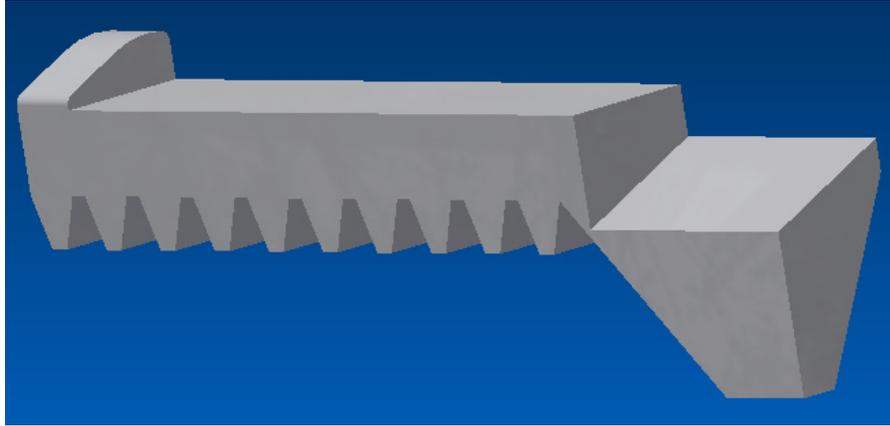


Figura 4.59 Cuerpo de la cremallera

Una vez hecho esto, se diseña la esfera que vemos en la Figura 4.60 y que servirá de unión tipo rótula con una de las carcasas del mecanismo. Dicha esfera tiene un diámetro de 4 mm y se realiza con el comando “Esfera” situado en la pestaña de “Modelado 3D” en el apartado de “Primitivas”.

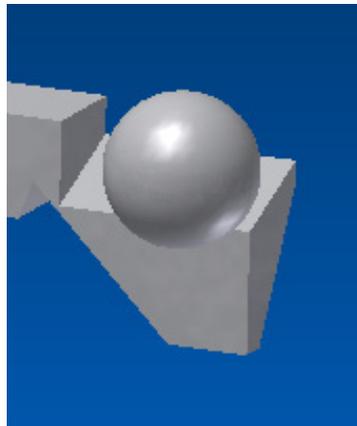


Figura 4.60 Esfera de la cremallera

Llegados a este punto se realizan una serie de rebajes para evitar la interferencia con otras piezas del mecanismo a lo largo de todo el recorrido de la propia cremallera. El resultado es el que vemos en la Figura 4.61.

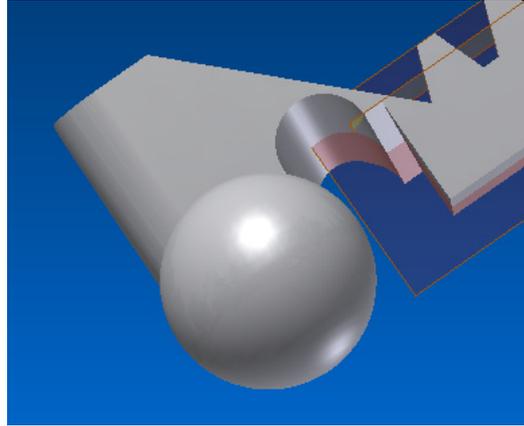


Figura 4.61 Rebajes en la cremallera

El último paso en el desarrollo de la cremallera es el redondeo de las aristas, principalmente en las zonas donde puede haber concentración de tensiones como es en la base del diente o en los rebajes. Finalmente, el resultado final de la pieza es el que vemos en la Figura 4.62.

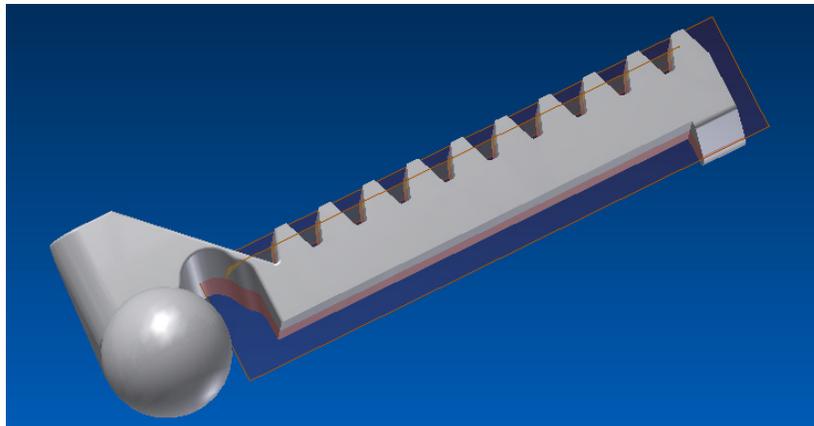


Figura 4.62 Resultado final de la cremallera

4.10 CARCASA INFERIOR

El primer paso para el desarrollo de esta pieza es la creación del boceto de una circunferencia de 61,5 mm de diámetro, posteriormente, se realiza la extrusión del mismo una longitud de 4,4 mm.

Una vez realizada esa extrusión se realiza un vaciado de la misma dejando un grosor de 1,25 mm y eliminando la cara superior. El resultado es el que se ve en la Figura 4.63.

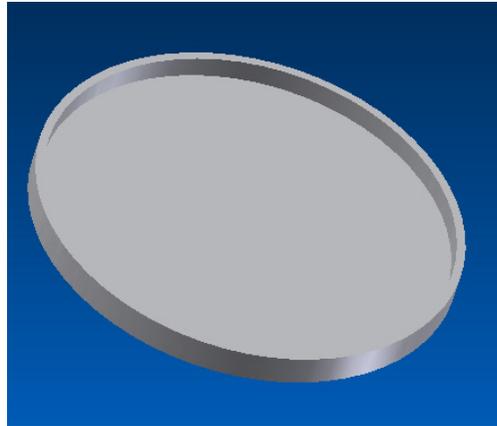


Figura 4.63 Extrusión inicial carcasa inferior

El siguiente paso, es la creación de los soportes que sirven para fijar la posición de la pieza al resto del conjunto. El boceto que se ha usado, como vemos en la Figura 4.64, contiene parámetros vinculados a otras piezas ya que como se menciona en el Apartado 4.3, la posición de los centros de los soportes deben tener unos valores establecidos para todas aquellas piezas afectadas por los tornillos.

En este caso, dichos soportes se realizan con el icono  que se encuentra en la pestaña de “Modelado 3D” en el apartado de pieza de “Pieza de plástico”. Al pulsar se abre un cuadro de diálogo que debemos rellenar con las dimensiones requeridas.

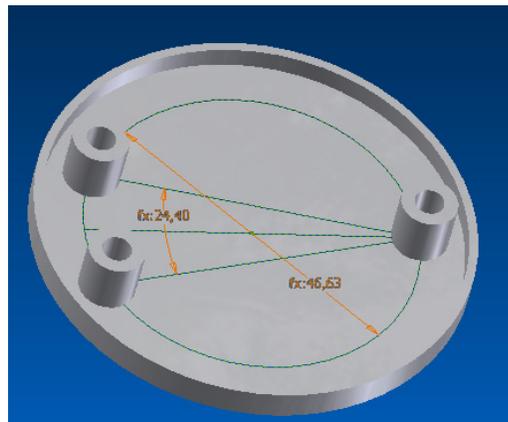


Figura 4.64 Boceto de la posición de los taladros

Una vez hecho esto, en la zona inferior de la pieza se realiza una serie de tres taladros de tipo escariado como se ve en la Figura 4.65.

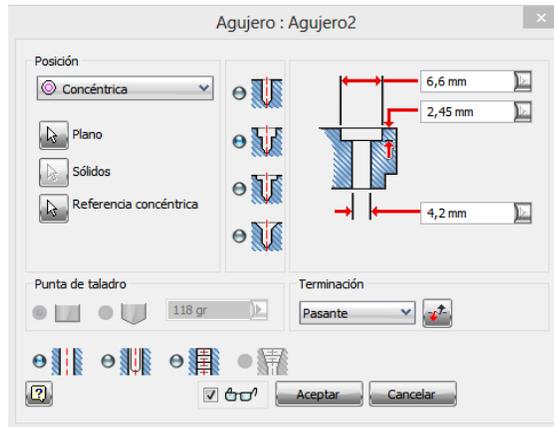


Figura 4.65 Características de los taladros de la carcasa inferior

El siguiente paso es la creación del acceso de la conexión eléctrica a los terminales del mecanismo. Para ello se realizan una serie de bocetos y extrusiones negativas eliminando el material necesario para crear una ranura como se ve en la Figura 4.66. Además se procede al modelado de las pestañas que fijarán dicha conexión eléctrica.

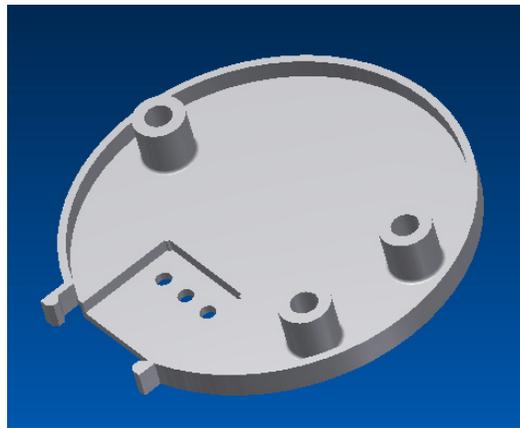


Figura 4.66 Ranura para los terminales

En último lugar se realiza una operación de ahuecado que nos permite realizar una inscripción en la pieza con el orden correcto de posicionamiento de los terminales. Dicha operación se denomina "Repujado" y se encuentra en la pestaña "Modelado 3D" en el apartado "Crear". El icono que se debe pulsar es



Repujado

El resultado final de la pieza es el que se ve en la Figura 4.67.



Figura 4. 67 Carcasa inferior completa

4.11 CARCASA EXTERNA SUPERIOR

Esta carcasa está fijada al espejo del retrovisor, por tanto ambos se mueven solidariamente

Para el diseño de esta pieza se comienza realizando una serie de bocetos cada uno de ellos con una circunferencia de distinto diámetro. Una vez hecho eso se realizan operaciones de extrusión tanto positiva como negativa para llegar al resultado que vemos en la Figura 4.68.

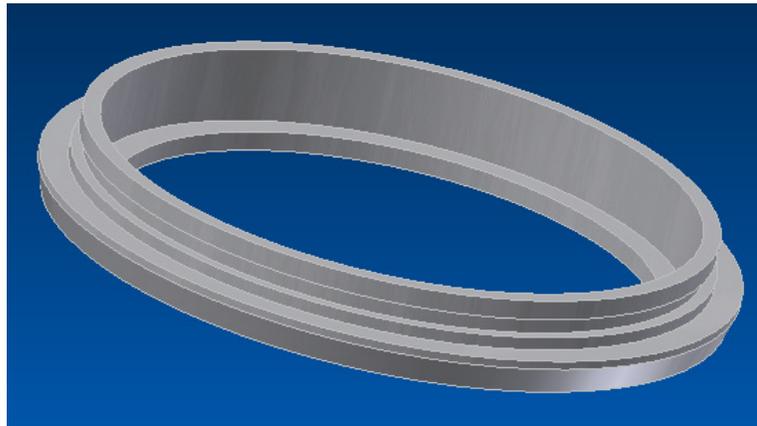


Figura 4. 68 Revolución perfil inicial Carcasa externa superior

Posteriormente, se realiza el perfil de la superficie curva que actúa como rótula a través de una unión esférica con la pieza “Carcasa base”. Ejecutando una operación de revolución de dicho perfil obtenemos lo que se ve en la Figura 4.69.

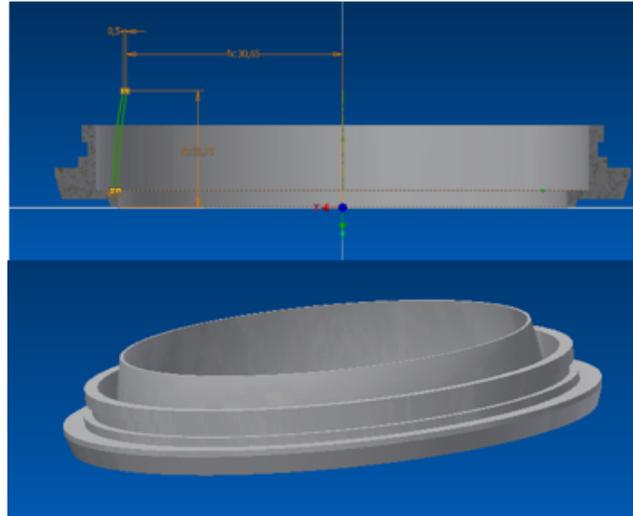


Figura 4.69 Superficie curva de contacto

El siguiente paso es realizar un vaciado en la parte superior de la pieza para posteriormente introducir nervios que servirán para que, ahorrando peso a la pieza, ésta tenga la misma resistencia a la deformación.

Para añadir nervios, debemos dirigirnos en la pestaña de “Modelo 3D”, al apartado “Crear” y pulsar sobre el icono  .

Una vez se termina el modelado de un nervio, se aplica un patrón circular para obtener exactamente el mismo número de nervios que los que están modelados en la pieza real. El resultado es el que vemos en la Figura 4.70.

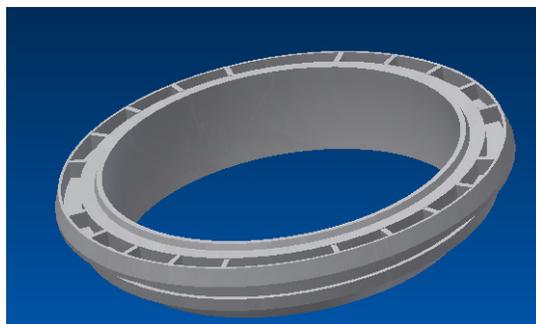


Figura 4.70 Nervios en la zona superior

A continuación, se diseñan las pestañas en las que se introducen las esferas de la pieza “Cremallera”. Estas pestañas sirven para que a través de una unión de tipo rótula, el movimiento de la cremallera se transmita a esta carcasa y, por tanto, al espejo. En la Figura 4.71 podemos ver el diseño.

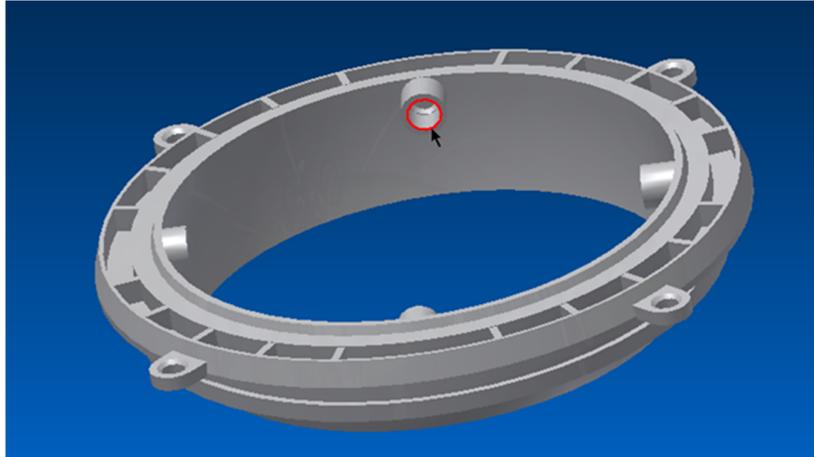


Figura 4.71 Pestañas para las cremalleras

En la siguiente etapa se realizan las ranuras de anclaje a través de las cuales esta carcasa se unirá a la pieza “Pivotante”, que se verá en el siguiente apartado, y por último, se realizan todos los redondeos y chaflanes necesarios para representar de la forma más veraz el diseño de este elemento y facilitar el montaje del mecanismo en su conjunto. El resultado final puede verse en la Figura 4.72.

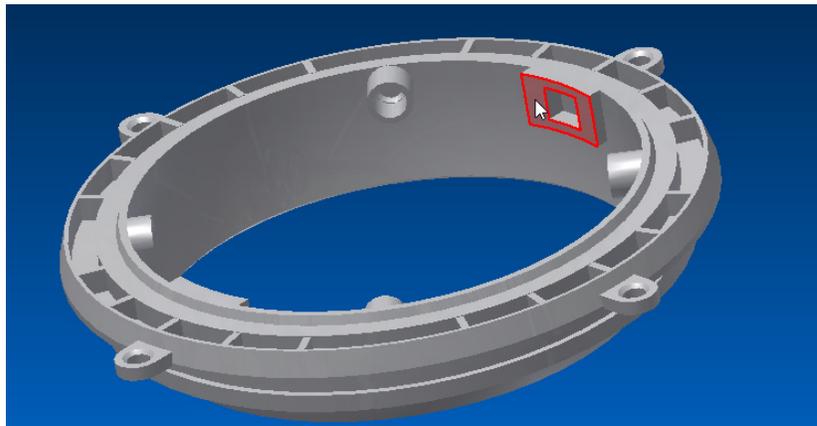


Figura 4.72 Ranura para el pivotante

4.12 PIVOTANTE

Como se mencionó en el apartado 2.2.2, esta pieza sirve para limitar el movimiento de la “Carcasa externa superior” y por tanto del espejo retrovisor. Esta limitación viene dada por una pestaña en la “Carcasa Base” que restringe a un determinado ángulo el giro del “Pivotante”.

El primer paso en el modelado de esta pieza es la creación de un boceto en el plano XZ del triedro con la forma que vemos en la Figura 4.73. Una vez realizado dicho boceto se realiza una extrusión de 2,5 mm.

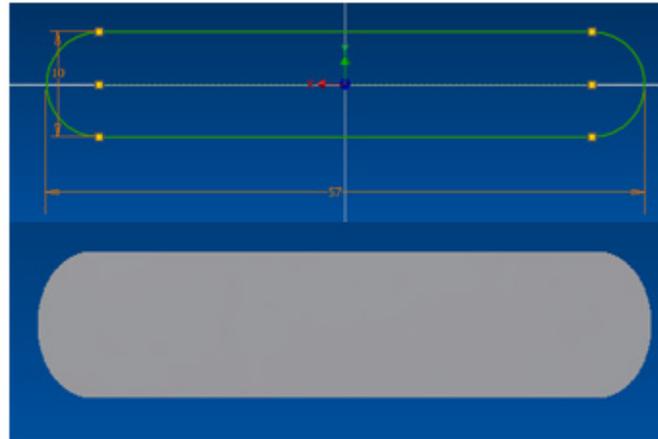


Figura 4.73 Boceto inicial del pivotante

El siguiente paso en el modelado es la creación de un perfil abierto para crear una superficie de corte que dará forma a la pieza. En la Figura 4.74 se puede ver el boceto y el resultado de la operación.

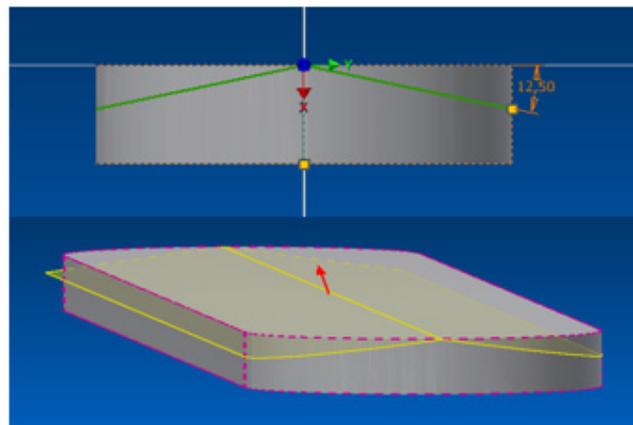


Figura 4.74 Boceto y creación de la superficie de corte

Una vez hecho esto, se realiza el boceto que vemos en la Figura 4.75 sobre la superficie plana inferior del modelo. Posteriormente se realizará una extrusión de 10,4 mm de dicho boceto.

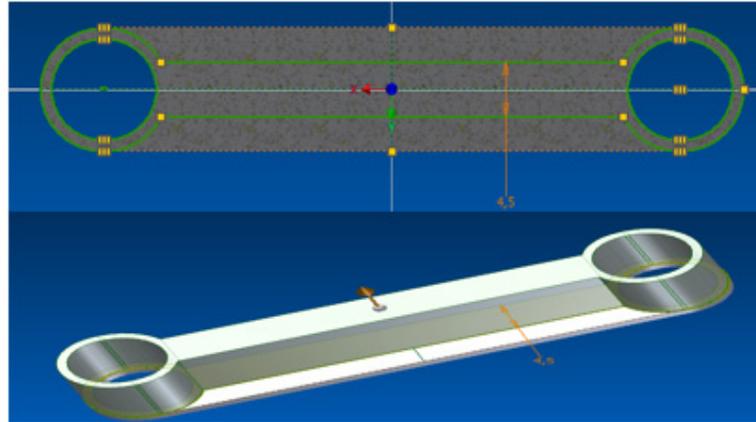


Figura 4.75 Creación del cuerpo del pivotante

A continuación se crea un perfil abierto para después transformarlo en una superficie de corte que dé forma a la pieza. El resultado se puede ver en la Figura 4.76.

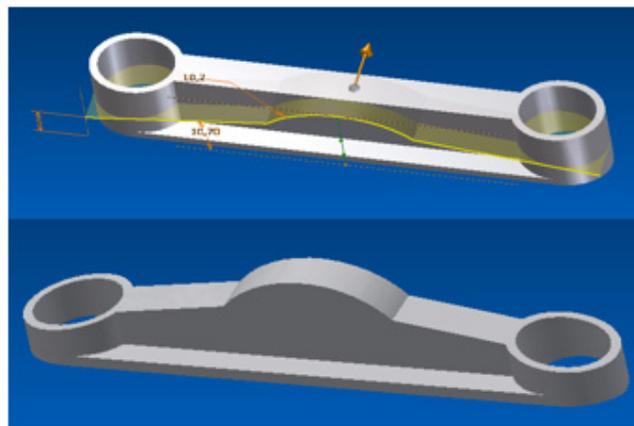


Figura 4.76 Corte con superficie para redondear

El siguiente paso (Figura 4.77), es la creación de una ranura que permite girar un determinado ángulo sin colisionar con la pieza “Carcasa Base”.

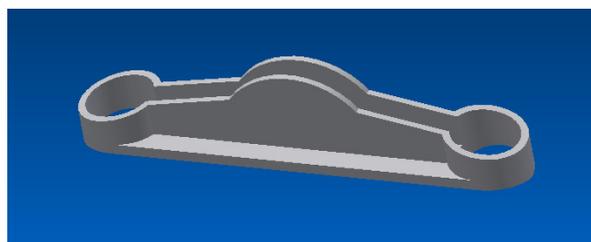


Figura 4.77 Ranura intermedia

Una vez hecho esto, se realiza un boceto en la cara lateral de la pieza. Con dicho boceto se realizará una extrusión negativa a toda la pieza, dando como

resultado el orificio donde se encaja esta pieza con la “Carcasa Base” y que limita el ángulo de giro. Dicho orificio lo podemos ver en la Figura 4.78.

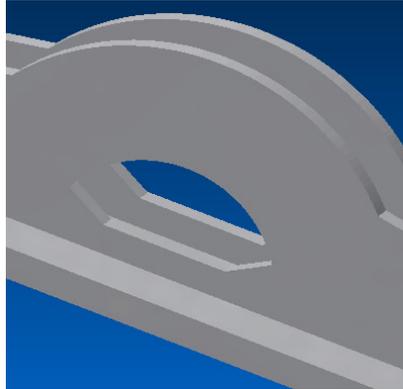


Figura 4.78 Orificio para encajar pestaña

Posteriormente se realizan las pestañas que se introducen en las ranuras creadas en la pieza “Carcasa Externa Superior”. El resultado es el que se observa en la Figura 4.79.

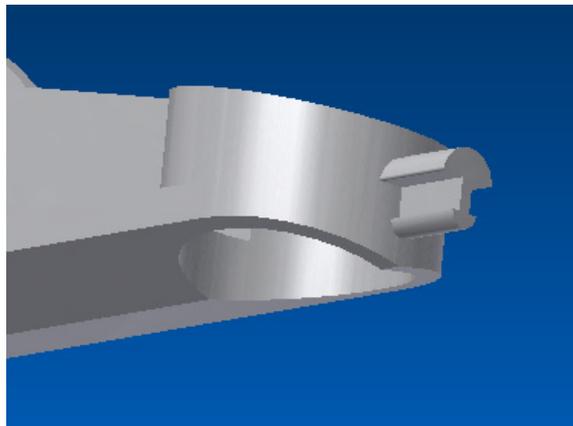


Figura 4.79 Pestaña del pivotante

Por último se realizan todos los redondeos necesarios en la pieza. El resultado final del modelado es el que se presenta en la Figura 4.80.

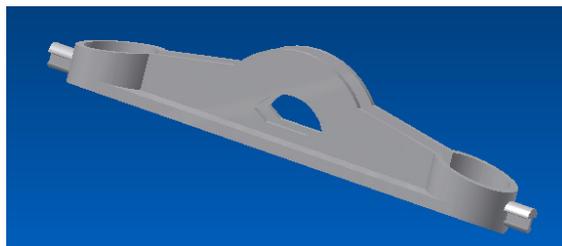


Figura 4.80 Resultado final del pivotante

4.13 CASQUILLOS METÁLICOS

El modelado de esta pieza es muy sencillo y se muestra en la Figura 4.81. Consiste en la creación del boceto que se indica en la figura mencionada y una vez restringido completamente se realiza una revolución del mismo 360°. Por último se realiza un empalme en la zona superior de la pieza con un radio de 0,5 mm.

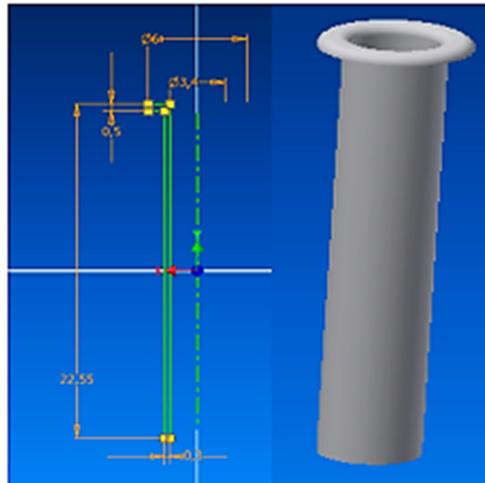


Figura 4.81 Boceto y revolución para formar el casquillo

4.14 ENSAMBLAJE FINAL

Una vez diseñadas todas las piezas, se lleva a cabo el ensamblaje de las mismas que se puede ver en la Figura 4.82.

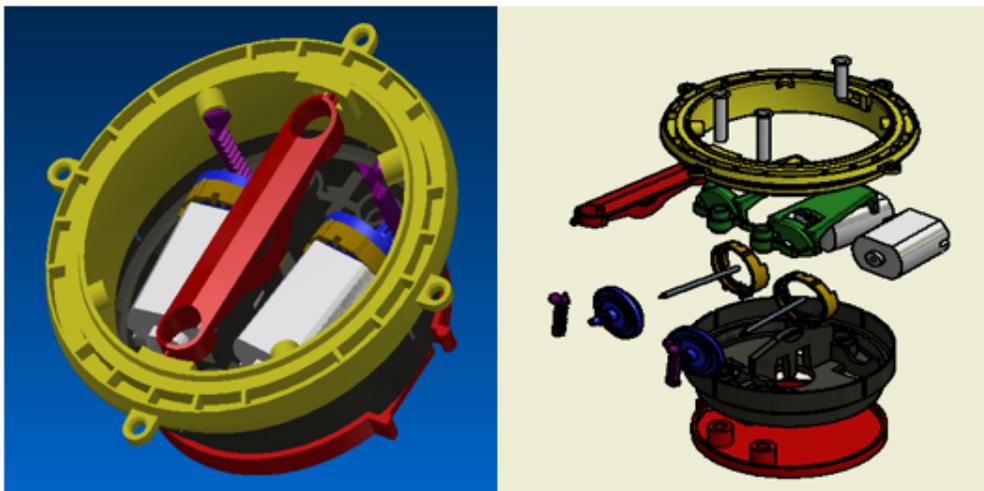


Figura 4.82 Ensamblaje de todas las piezas

CAPÍTULO 5

CÁLCULO TEÓRICO DEL MECANISMO PIÑÓN- CREMALLERA

5.1 GEOMETRÍA DEL PIÑÓN

Los dientes de un piñón y una cremallera pueden tener multitud de tamaños, y es necesario definir una unidad de medida. A través del peine de roscas que se muestra en el apartado 2.2.2.2, se obtiene el paso de los dientes del piñón: **$P = 1,5 \text{ mm}$** .

Con el paso del piñón y el recuento del número de dientes del mismo (**$Z_p = 8$**) se pueden obtener todos los parámetros de su geometría (Figura 5.1) aplicando las siguientes fórmulas habituales en el cálculo de engranajes:

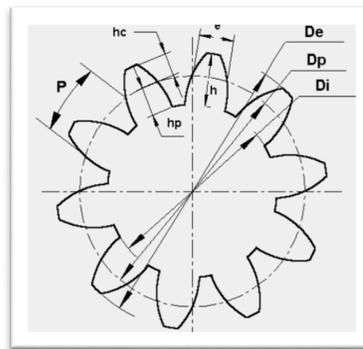


Figura 5.1 Geometría del piñón

$$\text{Módulo} = m = \frac{P}{\pi} = \mathbf{0,48 \text{ mm}} \quad \text{Ec. 1}$$

$$\text{Diámetro primitivo} = D_p = \frac{P \times Z_p}{\pi} = \mathbf{3,82 \text{ mm}} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\text{Diámetro externo} = D_e = D_p + 2m = \mathbf{4,78 \text{ mm}} \quad \text{Ec. 3}$$

$$\text{Altura del pie de diente} = h_p = 1,167 \times m = \mathbf{0,56 \text{ mm}} \quad \text{Ec. 4}$$

$$\text{Altura de la cabeza de diente} = h_c = m = \mathbf{0,48 \text{ mm}} \quad \text{Ec. 5}$$

$$\text{Altura total del diente} = h = 2,167 \times m = \mathbf{1,04 \text{ mm}} \quad \text{Ec. 6}$$

$$\text{Diámetro interno} = D_i = D_p - (2 \times h_p) = \mathbf{2,71 \text{ mm}} \quad \text{Ec. 7}$$

$$\text{Espesor del diente} = e = 0,5 \times P = \mathbf{0,75 \text{ mm}} \quad \text{Ec. 8}$$

$$\text{Ángulo de presión} = \alpha = \mathbf{20^\circ}$$

$$\text{Inclinación hélice diente} = \beta = \mathbf{0^\circ}$$

5.2 RESISTENCIA DE LOS DIENTES DEL MECANISMO

El objetivo en el diseño de un mecanismo de piñón-cremallera como el que se estudia en este TFG, es que no falle al estar en servicio durante un determinado tiempo mientras soporta un estado determinado de cargas.

Durante el engrane, se alcanza una concentración máxima de tensiones en la base del diente (Figura 5.2). Este tipo de fallo se produce cuando dicha tensión supera la resistencia a fluencia (estático) o el límite de fatiga por flexión.

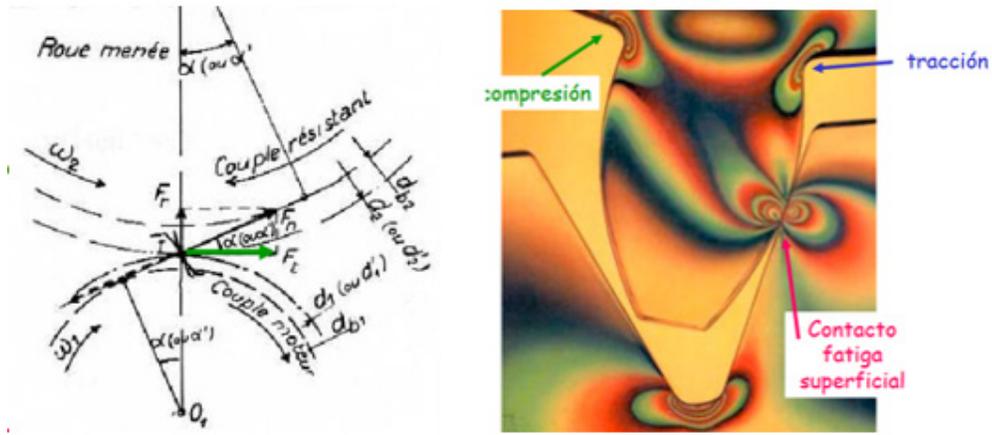


Figura 5.2 Tensiones en el diente

Comúnmente se consideran los dientes del mecanismo como vigas en voladizo cuya sección resistente será el rectángulo formado por el ancho del piñón o cremallera y el espesor de la base del diente.

Para la comprobación de la resistencia al fallo por rotura, se emplean las ecuaciones de diseño siguientes:

$$\text{Tensión de flexión límite} = \sigma_{blim} = \frac{S_{10^7}}{Y_{sa} \times C_s} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde S_{10^7} es la resistencia a fatiga del material, que se puede obtener de las propiedades físicas incluidas en Autodesk Inventor Professional para cada material. Para el caso del plástico PC, $S_{10^7} = 29,6 \text{ Mpa} = 2,96 \text{ daN/mm}^2$.

El parámetro Y_{sa} es un factor de concentración de tensiones, y se obtiene de la Tabla 1 del Anexo I con el número de dientes y sabiendo que las líneas primitivas de referencia de ambos elementos, piñón y cremallera, son tangentes, por lo que $\alpha = 0$. En nuestro caso $Y_{sa} = 1,7$.



El término C_s es un coeficiente de seguridad, cuyo valor debe ser mayor o igual que la unidad, ya que un valor inferior supone directamente la rotura del diente. Para los cálculos llevados a cabo en este TFG se toma $C_s = 1$, ya que de esa forma se trabajará al límite de la tensión que soporta el material.

Retomando la Ec. 9 y sustituyendo los valores numéricos de los tres parámetros implicados se tiene que:

$$\sigma_{blim} = \frac{2,96}{1,7 \times 1} = 1,74 \text{ daN/mm}^2$$

Para calcular la carga que actúa sobre el diente se aplica la Ec.10 a partir del par de torsión aplicado y el radio primitivo del piñón. De este modo obtenemos la Fuerza Tangencial sobre el diente, que es la que realiza trabajo, ya que la componente Radial (Ec.11) no transmite potencia. Dicha fuerza tangencial es válida tanto para el diente del piñón como para el de la cremallera por el principio de acción y reacción.

$$F_t = \frac{T}{r_p} \quad \text{Ec. 10}$$

$$F_r = F_t \times \tan \alpha \quad \text{Ec. 11}$$

Con la Ec.12 se calculará la componente normal de las fuerzas:

$$F_n = \frac{F_t}{\cos \alpha} = \sqrt{F_t^2 + F_r^2} \quad \text{Ec. 12}$$

Tomando los valores del radio primitivo del piñón a partir del resultado de la Ec.2, y el valor del par de torsión proporcionado por el fabricante (ver apartado 2.2.2), es decir, $T = 4,76 \text{ Nm}$ y $r_p = 1,91 \text{ mm}$, se obtiene que $F_t = 2,49 \text{ N}$ y $F_r = 0,91 \text{ N}$

La Ec.13 evalúa la carga límite que soporta el diente. En el caso de que la carga actuante sobre el diente, sea menor que la carga límite, no habrá rotura del diente, que es lo que interesa para el diseño de cualquier mecanismo de este tipo.

$$\text{Carga límite} = F_{tlim} = \sigma_{blim} \times b \times m \times \frac{1}{Y_{Fa} \times Y_\epsilon} \quad \text{Ec. 13}$$



Siendo b el ancho del engranaje, Y_{fa} un factor de forma que se obtiene de la Tabla 2 del Anexo I con los mismos parámetros que el factor Y_{sa} , y, por último, la variable Y_ϵ es el factor de conducción.

En particular, para nuestro retrovisor $b = 3,1 \text{ mm}$ y, $Y_{fa} = 2,55$ El factor de conducción considera que el reparto de la carga se realiza parcialmente entre dos parejas de dientes y se obtiene a través de la Ec.14 como se indica a continuación:

$$Y_\epsilon = 0,25 + \frac{0,75}{\epsilon_\alpha} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde ϵ_α es el grado de recubrimiento, que es el número medio de dientes que engrana. Para calcularlo se aplica la Ec.15 con los valores obtenidos anteriormente:

$$\epsilon_\alpha = \frac{1}{\pi \cos \alpha} \left(\sqrt{\frac{Z_1^2}{4} (\sin \alpha_1)^2 + y_1^2 + Z_1 y_1} + \sqrt{\frac{Z_2^2}{4} (\sin \alpha_2)^2 + y_2^2 + Z_2 y_2} - \left(\frac{Z_1 + Z_2}{2} \right) \sin \alpha \right) = 1,34 \quad \text{Ec. 15}$$

Por tanto obtenemos, de Ec.14 y Ec.13 que:

$$Y_\epsilon = 0,25 + \frac{0,75}{1,34} = 0,81$$

$$F_{tlim} = 17,4 \times 3,1 \times 0,4775 \times \frac{1}{2,55 \times 0,81} = 12,47 \text{ N}$$

Se comprueba que $F_{tlim} = 12,47 \text{ N} > Ft = 2,49 \text{ N}$, por lo que se puede afirmar a priori que con el par de torsión aplicado, no se producirá la rotura de los dientes.

En la Figura 5.3 se observa una tabla resumen con todos los datos y resultados teóricos obtenidos.



Datos	Resultados	Unidades
Par motor (T)	4,76	Nm
Ancho del diente (b)	3,1	mm
Paso (P)	1,5	mm
Número de dientes (Z_p)	8	-
Módulo (m)	0,48	mm
Diámetro primitivo (D_p)	3,82	mm
Diámetro externo (D_e)	4,78	mm
Altura pie diente (h_p)	0,56	mm
Altura cabeza diente (h_c)	0,48	mm
Altura total diente (h)	1,04	mm
Diámetro interno (D_i)	2,71	mm
Espesor del diente (e)	0,75	mm
Ángulo de presión (α)	20	°
Inclinación hélice diente (β)	0	°
Resistencia a fatiga del material (S_{107})	2,96	daN/mm ²
Factor de concentración de tensiones (Y_{sa})	1,7	-
Coefficiente de seguridad (C_s)	1	-
Tensión de flexión límite (σ_{blim})	1,74	daN/mm ²
Fuerza tangencial (F_t)	2,49	N
Fuerza radial (F_r)	0,91	N
Fuerza normal (F_n)	2,65	N
Factor de forma (Y_{fa})	2,55	-
Grado de recubrimiento (ϵ_α)	1,34	-
Factor de conducción (Y_ϵ)	0,81	-
Carga límite (F_{tlim})	12,47	N

Figura 5.3 Tabla resumen de los datos

CAPÍTULO 6

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DINÁMICA

6.1 INTRODUCCIÓN

Para llevar a cabo de forma correcta la Simulación Dinámica, además de la asignación de los materiales que se explica en el apartado 5.2, se deben establecer los coeficientes de fricción entre las uniones. Dicho parámetro, para uniones plásticas tiene un valor de 0,18.

El tiempo de simulación impuesto en cada caso de este capítulo, es el necesario para permitir al mecanismo realizar el desplazamiento completo del espejo desde un punto hasta el opuesto. El estudio se va a realizar sobre los dos tipos de movimientos más representativos de un espejo retrovisor, el movimiento lateral y el frontal. Para ello, el sistema de referencia usado en la representación de los gráficos es relativo a cada una de las uniones del mecanismo, siendo generalmente el que se observa en la Figura 6.1. Además para todas las simulaciones se desactiva la fuerza de la gravedad, por lo que el peso de las piezas no influye, pero si sus inercias.

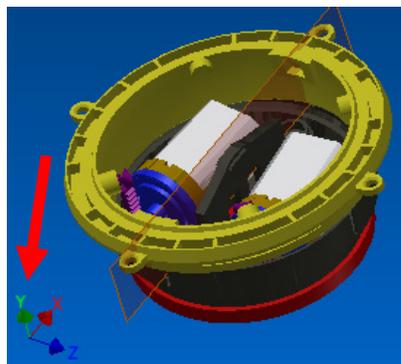


Figura 6. 1 Sistema de referencia

6.2 MOVIMIENTO LATERAL

En primer lugar, se realizará una simulación del movimiento lateral del espejo retrovisor (Figura 6.2), es decir, un movimiento producido por el giro de los motores en el mismo sentido. Posteriormente se lleva a cabo un análisis de las uniones más significativas del mecanismo. Con el análisis cinemático se obtienen la velocidad y aceleración de giro del espejo, mientras que con el análisis dinámico se calculan las fuerzas y pares de torsión asociados a las uniones.

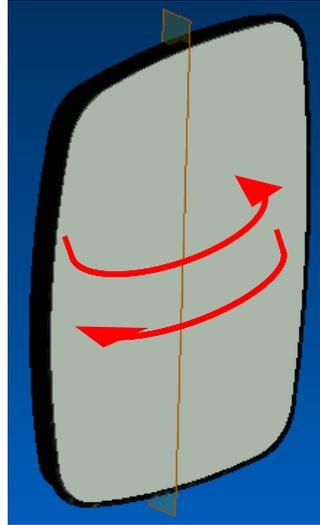


Figura 6.2 Movimiento lateral del espejo

6.2.1 UNIÓN PIÑÓN - CREMALLERA

Para esta unión del mecanismo se obtienen las Fuerzas y Momentos asociados a mencionada unión.

6.2.1.1 FUERZAS

En la Figura 6.3 se puede observar el gráfico correspondiente a las fuerzas, donde se puede comprobar que la Fuerza Tangencial es prácticamente igual a la Fuerza Normal, lo que indica que esta componente es la responsable de todo el trabajo, mientras que la radial alcanza un valor muy bajo en la transmisión del movimiento. El valor medio de cada una de las Fuerzas representadas en el gráfico es:

$$F_n_{med} = 2,46 N$$

$$F_t_{med} = 2,36 N$$

$$F_r_{med} = 0,60 N$$

En la imagen, vemos que al inicio de la simulación existe un pico de fuerza correspondiente al inicio del engrane de los dientes del mecanismo a causa seguramente de la deformación de las distintas piezas y a la necesidad de vencer la inercia propia del mecanismo. Además se ve también que a partir del instante de tiempo $t = 7,84 s$, las fuerzas empiezan a aumentar debido a que

el mecanismo llega al final del recorrido y el pivotante impide seguir con el movimiento.

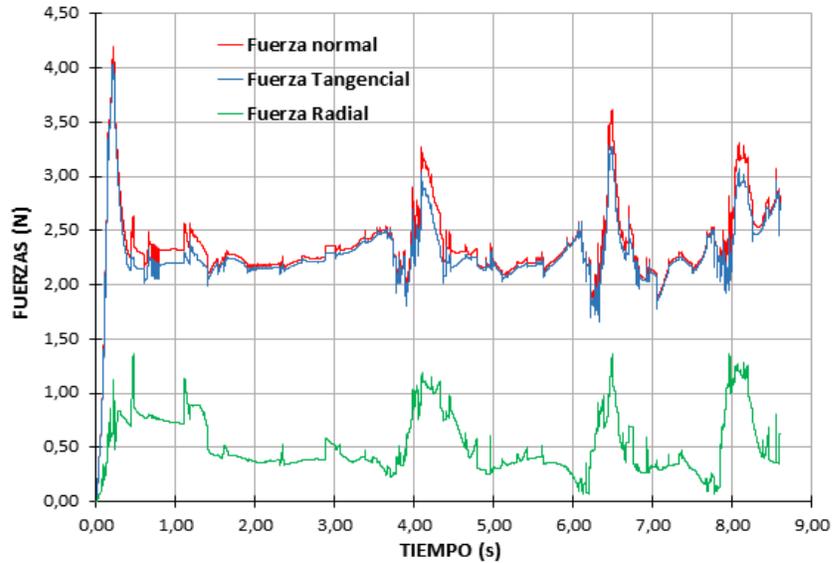


Figura 6.3 Variación de las Fuerzas en el tiempo

6.2.1.2 MOMENTO

Según el sistema de referencia de la Figura 6.1, el momento representado en la Figura 6.4 es el que está asociado a la componente $-X$ de la unión. Los momentos correspondientes a las direcciones $-Y$ y $-Z$ no se muestran ya que las curvas oscilan alrededor del cero siendo ruido numérico. En el caso de la dirección $-Y$, se debe a que la única fuerza que produce momento es el rozamiento entre los dientes, mientras que la causa de este resultado en la componente $-Z$ es que no puede existir interferencia entre los volúmenes sólidos.

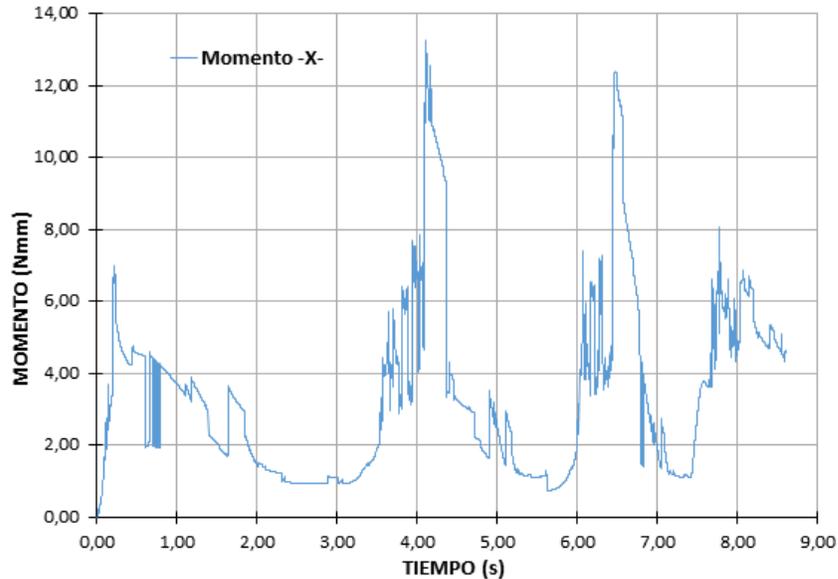


Figura 6.4 Variación del Momento X con respecto al tiempo

El valor medio del momento en -X- es: $M_{x_{med}} = 4,50 \text{ Nmm}$. Este resultado coincide prácticamente, con el valor del par impuesto a los motores.

6.2.2 UNIÓN DE LA CREMALLERA CON LA CARCASA SUPERIOR EXTERNA

Para esta unión del mecanismo se obtienen, también, las Fuerzas y Momentos asociados a dicha unión.

6.2.2.1 FUERZA

En la Figura 6.5 se muestra el resultado de la fuerza vertical que ejerce la cremallera sobre la Carcasa Externa Superior a través de la rótula esférica. Esta unión permite el giro de dicha carcasa y por tanto la rotación del espejo. Al igual que en la Figura 6.3, se puede observar al inicio de la simulación que existe un pico de fuerza correspondiente al inicio del engrane del mecanismo.

El valor medio de la fuerza de contacto es: $F_{med} = 2,3 \text{ N}$. El resultado resulta lógico ya que dicha fuerza debe ser igual a la fuerza tangencial obtenida en el apartado 6.2.1. Existe una variación mínima de 0,06 N entre las medias de ambas fuerzas. Ésta es debida a que el sistema de referencia relativo a la unión piñón-cremallera varía un poco respecto al de la unión cremallera-carcasa superior externa.

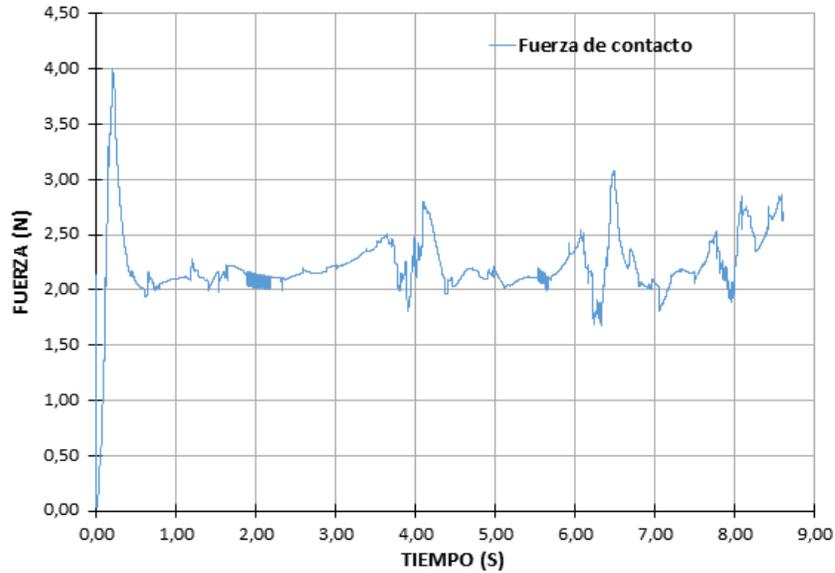


Figura 6.5 Variación en el tiempo de la fuerza de contacto de la cremallera sobre la carcasa

6.2.2.2 MOMENTOS

La unión entre los dos elementos está representada por un cilindro y una esfera, por lo que existiría, idealmente, un único punto de contacto entre los dos elementos y, por tanto, el momento que soportaría la unión debería ser nulo. Dado que el programa posee cierto límite numérico, la esfera y el cilindro no son perfectos y el software muestra un cierto valor (muy reducido) del momento asociado a la unión. En la Figura 6.6 se observa el gráfico de la resultante de los momentos.

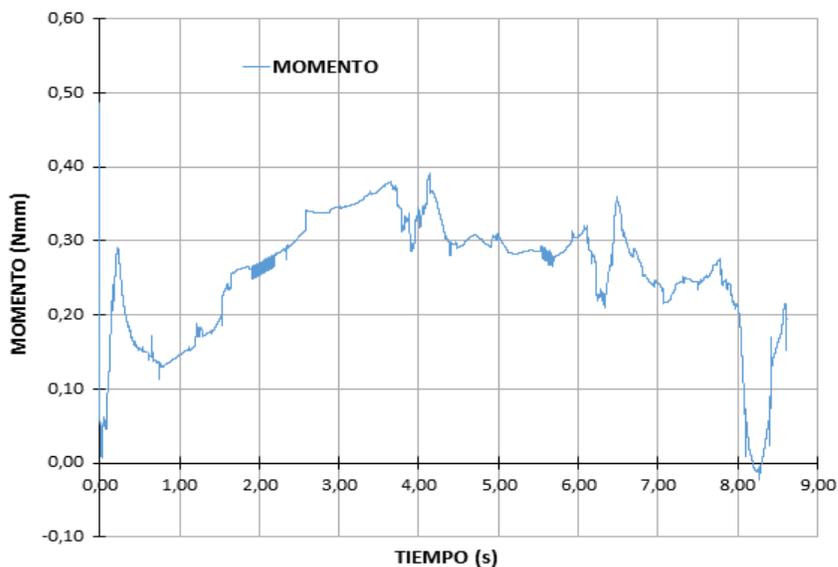


Figura 6.6 Variación del momento en la unión de la cremallera y la carcasa



En este caso, el valor medio que alcanza es $M_{med} = 0,22 \text{ Nmm}$.

6.2.3 UNIÓN ESFÉRICA DE LA CARCASA SUPERIOR EXTERNA CON LA CARCASA BASE

Para la unión esférica entre la carcasa superior externa y la carcasa base se va a hacer un análisis tanto cinemático (velocidades y aceleraciones) como dinámico (fuerzas y momentos).

6.2.3.1 VELOCIDADES

En la Figura 6.7 se representa la velocidad de giro de la carcasa superior externa, es decir, la velocidad a la que se produce el giro del espejo cuando es accionado por el usuario.

En dicha imagen se puede observar cómo la velocidad inicial es 0 gr/s , lo que es lógico ya que el mecanismo parte del reposo. La velocidad va aumentando hasta alcanzar un máximo de $13,94 \text{ gr/s}$ en el instante $t = 7,84 \text{ s}$. A partir de este punto, la velocidad disminuye rápidamente por lo que se indicó en el apartado 6.2.1, el mecanismo llega al tope de su recorrido y tiene impedido el movimiento.

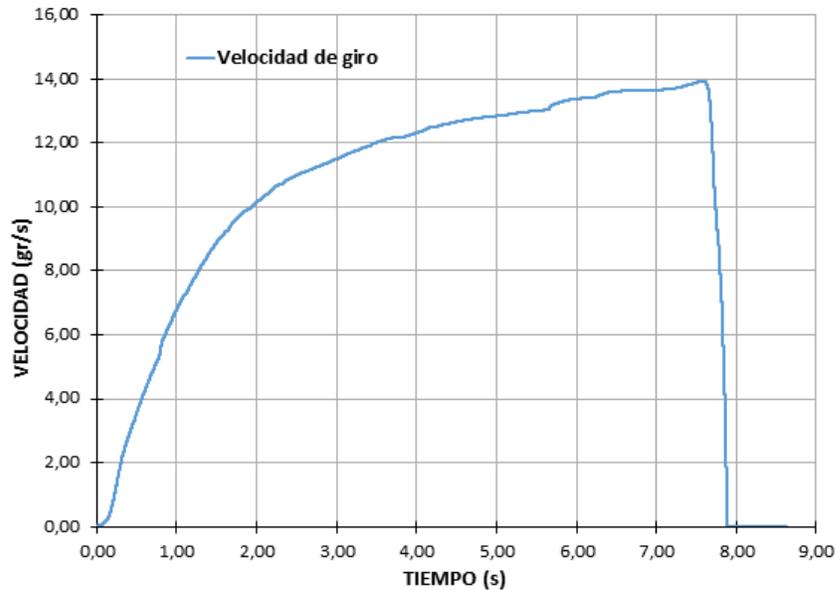


Figura 6.7 Variación de la velocidad en la unión esférica

6.2.3.2 ACELERACIONES

En la Figura 6.8 está representado el gráfico de la variación de la aceleración en función del tiempo. Por motivos de alcanzar una mejor resolución numérica en términos de derivadas segundas, se exportan los datos de la velocidad a Matlab y se saca la función polinómica que la define, para posteriormente derivarla y obtener la función de la aceleración.

En la imagen se observa cómo crece la aceleración en el instante inicial de la simulación, es decir, cuando comienza a moverse el mecanismo. Después va disminuyendo por lo que en la Figura 6.7 en donde la velocidad sigue aumentando pero con menor pendiente. Al final del gráfico se observa que la aceleración es negativa, dato que se puede contrastar con la caída de la velocidad de la Figura 6.7.

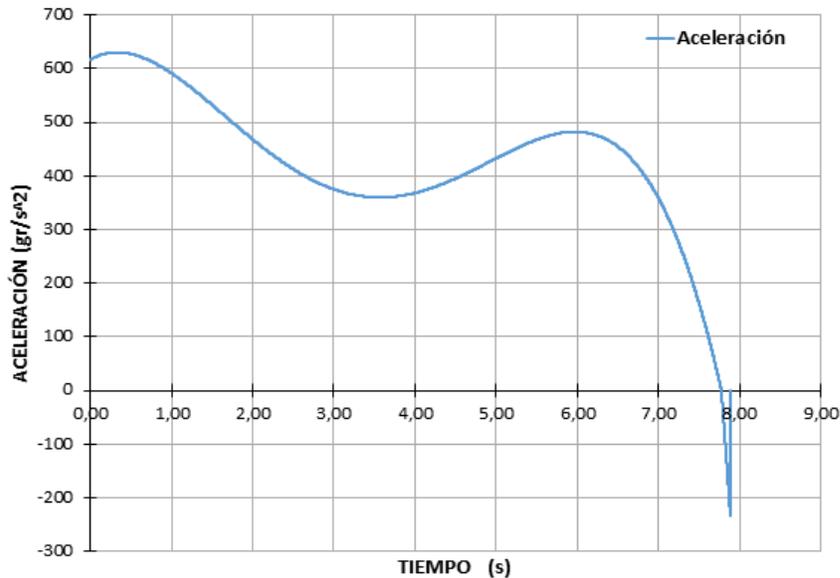


Figura 6.8 Variación de la aceleración en la unión esférica

6.2.3.3 FUERZAS

En la Figura 6.9 vemos el gráfico correspondiente a la variación de la Fuerza en función del tiempo. Según el sistema de referencia, que es igual al de la Figura 6.1, la componente que ejerce fuerza debido al rozamiento de las carcasas, es la vertical, es decir, la componente -Y-. Esto se puede comprobar viendo que la resultante de las fuerzas es prácticamente igual a la componente vertical.

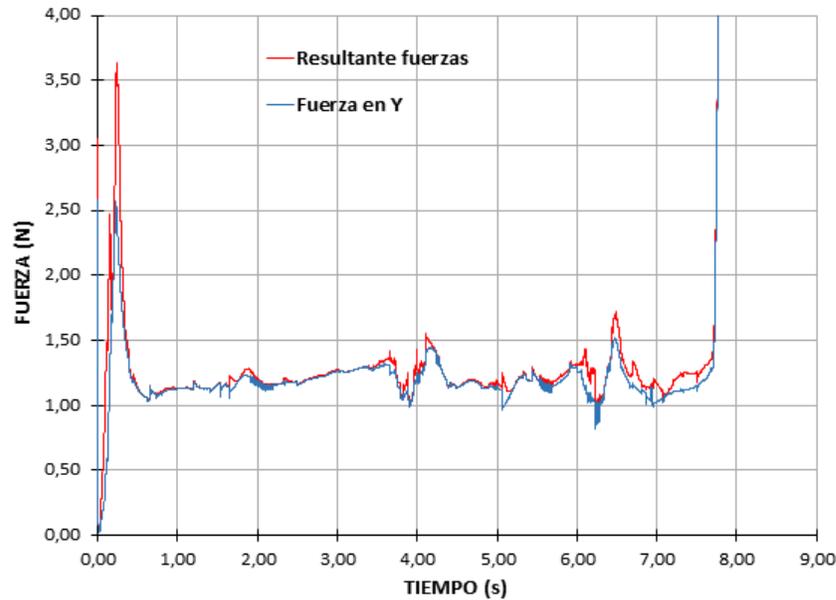


Figura 6.9 Variación de las Fuerzas en la unión Esférica

El valor de dicha componente es $F_{y_{med}} = 1,28 \text{ N}$. Además, en la imagen se puede ver de nuevo que en el instante $t = 7,97 \text{ s}$ se llega al final del recorrido del mecanismo, produciéndose un aumento de la fuerza debido a la colisión.

6.2.3.4 MOMENTOS

Por ser de tipo esférica, la unión actúa como una rótula por lo que la resultante del momento obtenido en este caso, es nulo. Los resultados no son mostrados por que las curvas oscilan alrededor del cero, siendo considerado como ruido numérico.

6.3 MOVIMIENTO FRONTAL

En este apartado se realizan los mismos análisis que en el apartado 6.2 pero cambiando el movimiento. En el apartado anterior se realizaba un movimiento lateral mientras que en este caso, el movimiento es frontal (Figura 6.10), es decir, un motor gira en sentido contrario al otro.

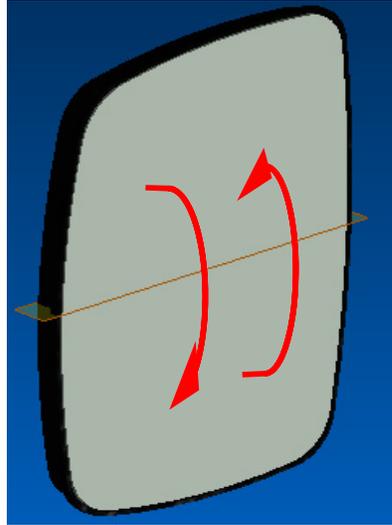


Figura 6.10 Movimiento Frontal del espejo

6.3.1 UNIÓN PIÑÓN – CREMALLERA

Al igual que se hizo en el apartado 6.2.1, se calculan las fuerzas y momentos de la unión.

6.3.1.1 FUERZAS

En la Figura 6.11 se observa el gráfico de las Fuerzas que afectan a la unión del mecanismo piñón – cremallera. Nuevamente, existe un pico de fuerza al inicio del engrane de los dientes del mecanismo a causa seguramente de la deformación de las distintas piezas y a la necesidad de vencer la inercia propia del mecanismo. Después la fuerza se estabiliza, y a partir del instante $t = 9,97 \text{ s}$ vemos que existe un aumento de las fuerzas debido a que el mecanismo llega al final del recorrido. El valor medio correspondiente a cada una de las fuerzas es:

$$F_n_{med} = 2,55 \text{ N}$$

$$F_t_{med} = 2,39 \text{ N}$$

$$F_r_{med} = 0,83 \text{ N}$$

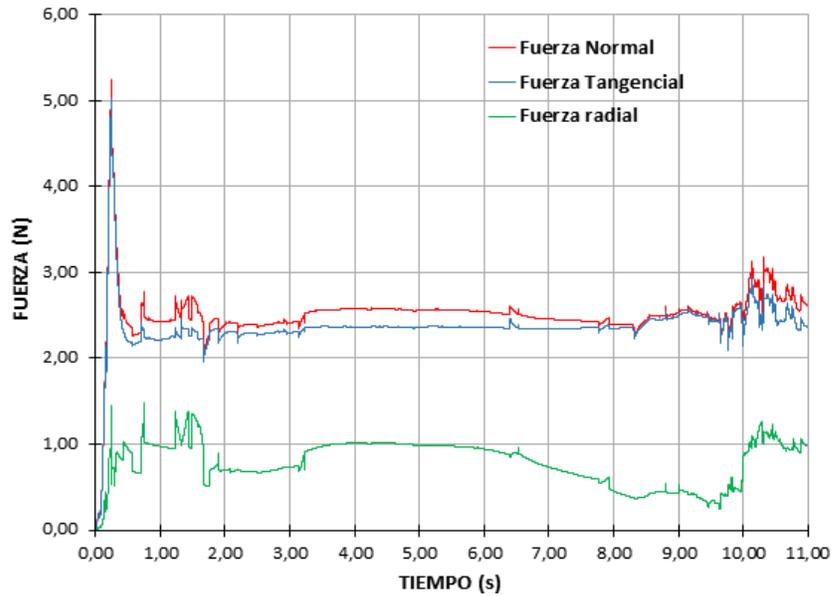


Figura 6.11 Variación de las fuerzas en la unión piñón-cremallera en movimiento frontal

6.3.1.2 MOMENTO

La componente que afecta a esta unión debido al contacto de los dientes del piñón y la cremallera, es la componente $-X$ - (Figura 6.12). El valor medio que alcanza es $M_{med} = 4,28 \text{ Nmm}$. La componente $-Y$ - del momento está afectada sólo por el rozamiento entre la cremallera y el piñón, y en la dirección $-Z$ - no puede existir interferencia entre los volúmenes sólidos, por lo que al igual que en el apartado 6.2.1.2, se ha optado por no representarlas.

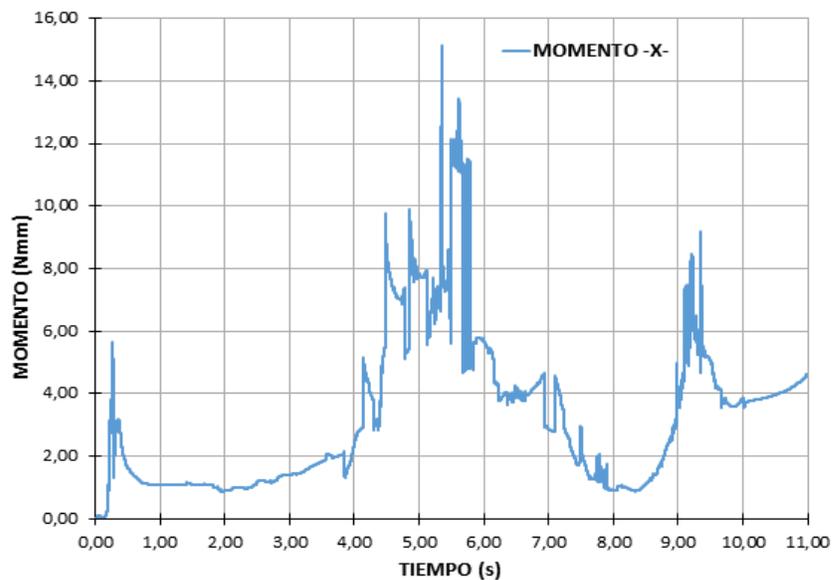


Figura 6.12 Variación del momento X en la unión cremallera-carcasa en movimiento frontal

6.3.2 UNIÓN DE LA CREMALLERA CON LA CARCASA SUPERIOR EXTERNA

En este apartado, se realiza un análisis de la fuerza vertical que ejerce la cremallera sobre la carcasa superior externa y de la resultante de los momentos.

6.3.2.1 FUERZA

En la Figura 6.13 se muestra la variación de la fuerza a medida que el mecanismo va rotando.

Tras el pico de fuerza inicial, la fuerza se estabiliza y se obtiene un valor medio $F_{med} = 2,20 N$. Este valor, como es lógico, coincide prácticamente con la fuerza tangencial calculada en el apartado anterior, ya que la fuerza que ejerce el piñón sobre la cremallera en dirección vertical (componente tangencial) es la misma que ejerce la cremallera sobre la carcasa superior externa.

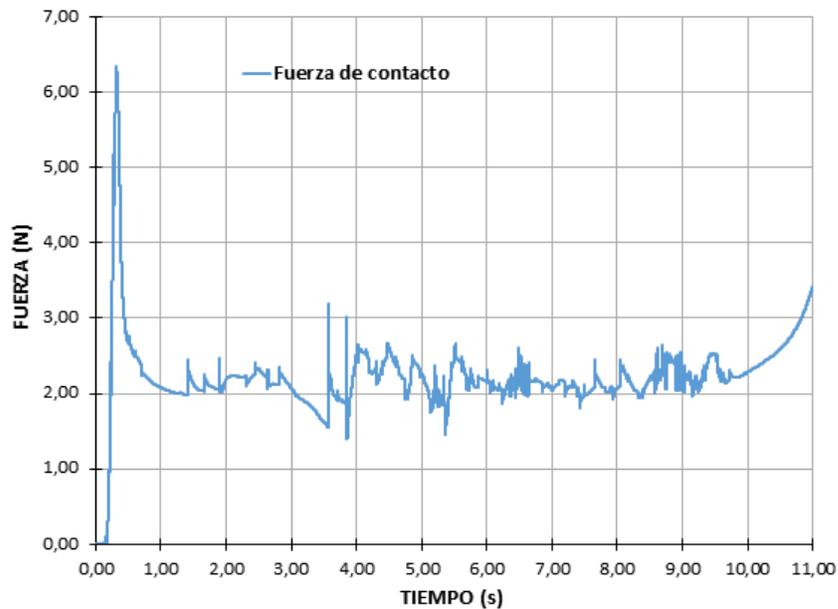


Figura 6.13 Variación en el tiempo de la fuerza de contacto en el movimiento frontal

6.3.2.2 MOMENTO

En la Figura 6.14 está representado el momento de la unión entre la esfera de la cremallera y el cilindro de la carcasa superior externa.

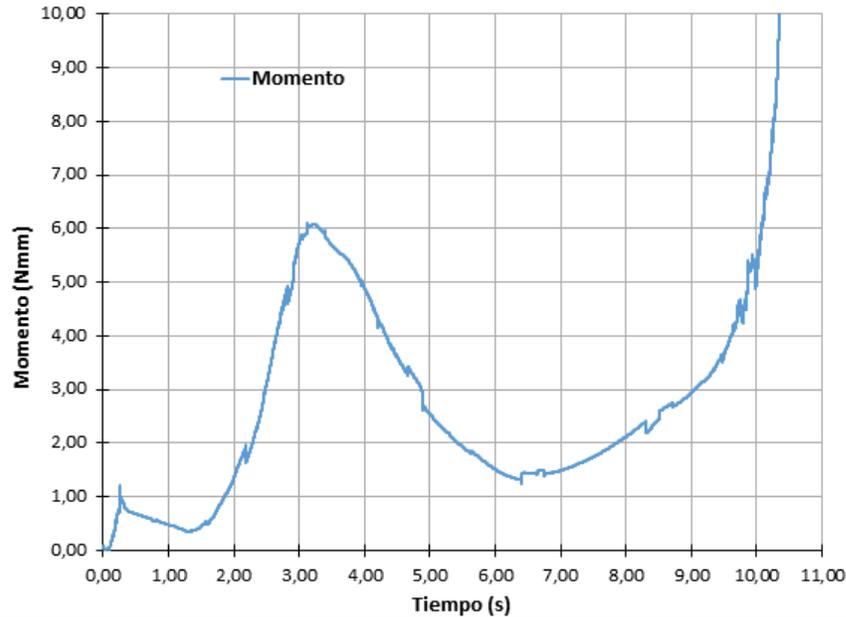


Figura 6.14 Variación del momento en la unión de la cremallera y la carcasa movimiento frontal

En este caso la media del momento absorbido por la unión es $M_{med} = 2,98 \text{ Nmm}$, es decir, mayor que la calculada en el apartado 6.2.2.2, lo que indica que existe una mayor limitación en el movimiento de la esfera dentro del cilindro.

6.3.3 UNIÓN ESFÉRICA DE LA CARCASA SUPERIOR EXTERNA CON LA CARCASA BASE

Al igual que en el apartado 6.2.3, para la unión esférica entre la carcasa superior externa y la carcasa base se va a hacer un análisis tanto cinemático (velocidades y aceleraciones) como dinámico (fuerzas y momentos).

6.3.3.1 VELOCIDAD

En la Figura 6.15, correspondiente a la variación de la velocidad en función del tiempo, se ve que la velocidad inicial es 0 gr/s , valor lógico ya que el mecanismo parte del reposo. Posteriormente, la velocidad va aumentando hasta alcanzar un máximo de $9,55 \text{ gr/s}$, en el instante $t = 9,95 \text{ s}$. A partir de este punto, la velocidad disminuye de forma brusca debido a que el mecanismo alcanza el final del recorrido y se frena.

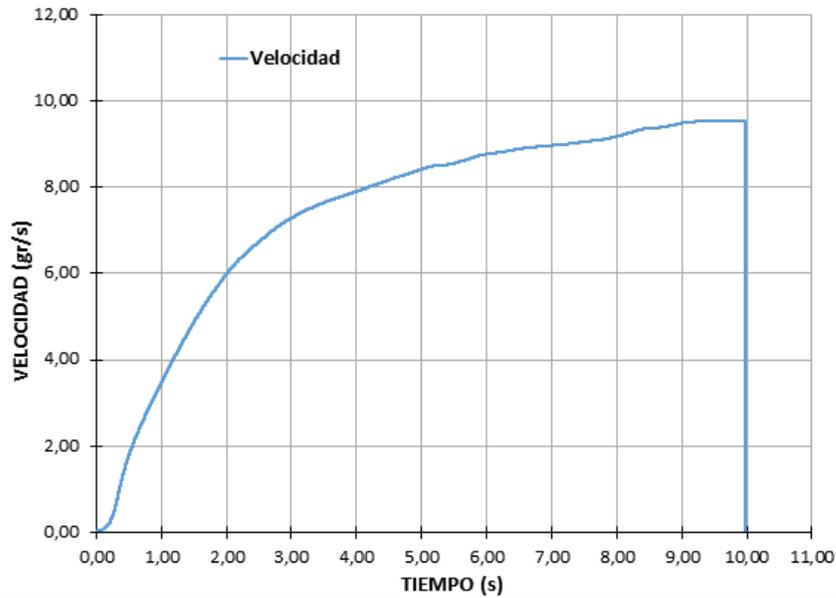


Figura 6.15 Variación de la velocidad en la unión esférica en movimiento frontal

El espejo del retrovisor tiene una forma aproximada a un rectángulo, cuyo lado mayor está situado verticalmente, como se ve en la Figura 6.10, por lo que el momento de inercia necesario para mover el mecanismo frontalmente es mayor que para hacerlo de forma lateral. A consecuencia de esto, la velocidad alcanzada por el mecanismo en este caso, es menor.

6.3.3.2 ACELERACIÓN

Para obtener la aceleración, se deriva la función de la velocidad, que se calcula exportando los datos de Excel a Matlab y realizando una aproximación polinómica, alcanzando de esta forma una mejor resolución numérica.

En la Figura 6.16 se observa la variación de la aceleración en función del tiempo. Al igual que pasaba con el movimiento lateral, se observa cómo crece la aceleración en el instante inicial de la simulación, es decir, cuando comienza a moverse el mecanismo. Después la aceleración va disminuyendo por lo que en la Figura 6.15 vemos que la velocidad sigue aumentando pero con menor pendiente. En el tramo final del gráfico, se observa que la aceleración es negativa ya que el mecanismo se frena al llegar al límite del recorrido

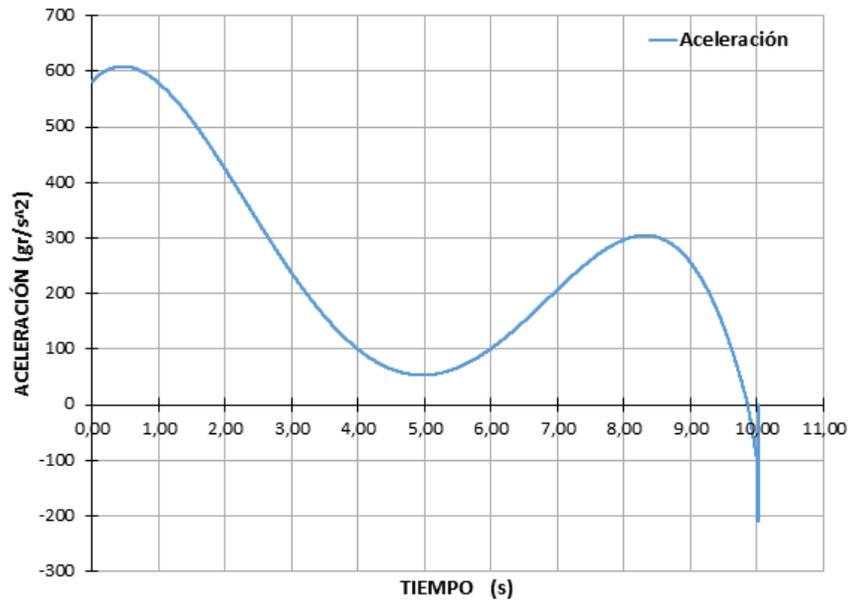


Figura 6.16 Variación de la aceleración en el tiempo en movimiento frontal

6.3.3.3 FUERZA

En la Figura 6.17 está representada la componente -Y- (componente vertical) de la fuerza que ejerce una carcasa sobre la otra debido al rozamiento entre ellas.

El valor de dicha componente es $F_{y_{med}} = 3,59 N$, que es mayor que en el caso anterior, ya que el par necesario para superar la inercia es mayor que en el movimiento lateral. Además, en la imagen se puede ver que aproximadamente en el instante $t = 10 s$ la fuerza desciende sin control debido a la colisión con la carcasa base.

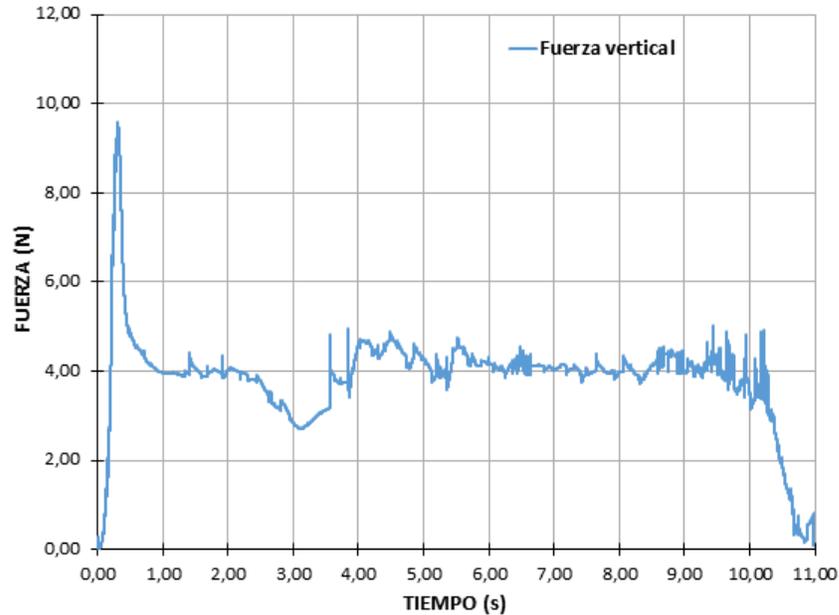


Figura 6.17 Variación de la fuerza de rozamiento entre carcacas en movimiento frontal

6.3.3.4 MOMENTO

Tal y como sucedió en el apartado 6.2.3.4, al ser una unión esférica, esta actúa como una rótula y la resultante del momento obtenido en este caso, es prácticamente nulo. Los resultados no son mostrados por que las curvas oscilan alrededor del cero, siendo considerado como ruido numérico.

6.4 COMPARACIÓN DE LAS FUERZAS OBTENIDAS EN EL MODELO TEÓRICO Y LA SIMULACIÓN

En este apartado se realiza la comparación de las fuerzas obtenidas para el mecanismo de piñón – cremallera. Los resultados que se van a cotejar, por un lado son los obtenidos con el modelo teórico del Capítulo 4, y por el otro lado, los obtenidos en las Simulaciones Dinámicas realizadas en el capítulo presente, ya que en los tres casos, el piñón – cremallera está sometido al mismo estado de cargas.

Para facilitar la comparación de los resultados, en la Figura 6.18 se muestra una tabla con los resultados obtenidos para cada uno de los modelos.



	MODELO TEÓRICO	S.D ¹ . MOVIMIENTO LATERAL	S.D. MOVIMIENTO FRONTAL
Fuerza Tangencial (N)	2,49	2,36	2,39
Fuerza Radial (N)	0,91	0,60	0,83
Fuerza Normal (N)	2,65	2,46	2,55

Figura 6.18 Tabla de resultados

- **Fuerza Tangencial**

Los resultados calculados para la fuerza tangencial son muy parecidos entre los tres modelos. La diferencia entre el valor obtenido para la simulación dinámica del movimiento lateral y el obtenido para la simulación dinámica del movimiento frontal es prácticamente nula. Dicha diferencia, cuyo valor es **0,03 N**, se debe a que en el movimiento lateral, la cremallera (y los ejes asociados a la misma) sufren pequeñas variaciones en su dirección a lo largo del recorrido, cosa que no sucede en el movimiento frontal.

El error de ambas simulaciones con respecto al modelo teórico es aproximadamente un **5%**. Dicho error se debe a que el modelo teórico no tiene en cuenta las inercias de los elementos, mientras que en las simulaciones virtuales sí que influye.

- **Fuerza radial**

De igual modo que para la fuerza tangencial, los resultados calculados para la fuerza radial son muy parecidos entre los tres modelos. La diferencia entre el valor obtenido para las dos simulaciones dinámicas es de **0,23 N**. La variación en la dirección de la cremallera durante el movimiento lateral, es la causa de la diferencia entre las fuerzas. Dicha diferencia se hace más evidente en la componente radial.

El error cometido por las simulaciones con respecto al modelo teórico es de aproximadamente un **34%** para el movimiento lateral y de un **9%** en el frontal.

¹ S.D.: "Simulación Dinámica".



- **Fuerza normal**

Para la fuerza normal, ocurre lo mismo que en los dos casos anteriores. Los resultados obtenidos para los tres modelos son muy similares, la diferencia entre los modelos virtuales es de **0,09 N**.

El error cometido por las simulaciones con respecto al modelo teórico es de aproximadamente un **7%** para el movimiento lateral y de un **4%** en el frontal.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS



7.1 CONCLUSIONES

Una vez finalizado este Trabajo de Fin de Grado sobre el mecanismo de un retrovisor de automóvil, se puede revisar si se han cumplido los objetivos establecidos inicialmente.

Mediante un trabajo de investigación y las horas de práctica, se han alcanzado los conocimientos necesarios para poder trabajar con soltura con Autodesk Inventor Professional. El entendimiento de las distintas herramientas y operaciones, ha permitido llevar a cabo el modelado de un elemento de la industria del automóvil tal y como se realiza en la empresa.

Para realizar este trabajo, en primer lugar ha sido necesaria una labor práctica de despiece de un espejo retrovisor real. Dicha tarea era imprescindible para posteriormente efectuar un análisis del funcionamiento del conjunto, así como de cada uno de los elementos que lo forman.

En lo referido al diseño, a través de las pautas básicas establecidas en este trabajo para el correcto modelado de elementos mecánicos, se ha realizado la representación virtual de cada una de las piezas, y el ensamblaje de las mismas.

Dicho proceso de diseño ha derivado en la ejecución de la simulación dinámica del mecanismo. Analizando los resultados obtenidos en el Capítulo 6, se puede asumir de forma general que las simulaciones llevadas a cabo se ajustan bastante bien a los resultados teóricos. Merece la pena mencionar especialmente los resultados de las fuerzas correspondientes al mecanismo de piñón – cremallera. A pesar de que en el modelo teórico no se tienen en cuenta las inercias de las piezas, los resultados de la simulación dinámica son bastante fieles al mismo. Sin embargo, a causa de la variación de los ejes de la cremallera durante el movimiento del mecanismo, existe un porcentaje de error entre los modelos, que se hace más evidente en la componente radial correspondiente al movimiento lateral.

Por otro lado, la velocidad de giro del espejo se ve afectada por el eje principal de inercia respecto al cual se produce la rotación del mismo. Una velocidad muy lenta resultaría incómoda para el usuario debido a que le llevaría demasiado tiempo ajustar la posición deseada, mientras que una velocidad de giro elevada, impediría al conductor realizar un ajuste preciso del retrovisor.

Tras todo esto, se puede decir que los objetivos planteados para este trabajo se han cumplido de forma satisfactoria. Además, por medio de lo expuesto en

este documento, es posible afirmar que cualquier persona interesada puede desarrollar por sí misma el proceso de diseño y la posterior simulación de cualquier elemento mecánico.

7.2 LÍNEAS FUTURAS

Para trabajos futuros sería posible realizar otro tipo de estudios que no se han llevado a cabo en este trabajo por falta de tiempo, como por ejemplo un análisis de elementos finitos (Figura 7.1).

Dicho análisis permitiría la observación de las zonas más críticas de cada una de las piezas permitiendo mejorar el diseño y evitar de esta manera roturas y desgastes durante el servicio. Para el caso concreto de este TFG, hubiese resultado muy interesante llevar a cabo dicho análisis en la cremallera ya que posee zonas críticas de pequeño espesor que podrían suponer su rotura.

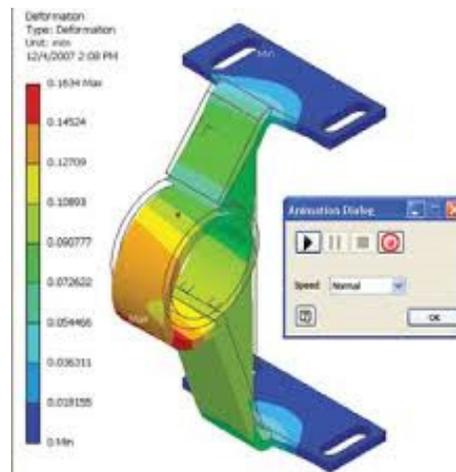


Figura 7.1 Ejemplo de análisis por elementos finitos

Otra posibilidad sería un estudio más profundo de los materiales plásticos usados en la industria del automóvil. Como se menciona en el capítulo 4, la mayoría de las piezas plásticas usadas en el exterior del vehículo son de plástico PC/ABS debido a sus propiedades, pero existe un amplio abanico de materiales plásticos que pueden ser estudiados para su aplicación en este campo. En función de los materiales aplicados para cada una de las piezas, se obtendrán unos resultados de fuerzas distintos, lo que permitiría mejorar y optimizar el diseño del mecanismo a través de las simulaciones.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

Sanz Arranz, J.M. Tema 1: Introducción. Apuntes de la asignatura 'Diseño Asistido por Ordenador'. (2013).

Suárez, J., Morán, S., Rubio, R., Gallego, R. y Martín, S. Diseño e Ingeniería con Autodesk Inventor. Madrid: Prentice-Hall. (2006).

Tremblay, T. Autodesk Inventor 2009. Madrid: Anaya Multimedia (2009).

Shigley J. E., Mischke, C.R. Diseño en ingeniería mecánica. Mc Graw Hill 6ª Ed. (2002).

Casillas, A. L. Máquinas: Cálculo De Taller. Madrid: Ediciones Máquinas, (1977).

Anónimo. Apuntes de Teoría de mecanismos. Dpto. Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III. Madrid. (2013).

Lamadrid, A. Cinemática y dinámica de máquinas. Ed. Universidad Politécnica de Madrid, 7ª ed (1992).

PÁGINAS WEB

"Proceso Del Diseño Industrial - Blog Ingeniería." Blog Ingeniera. 09 Nov. 2013.
<http://blogingenieria.com/general/proceso-diseno-industrial/>

"El Diseño Paramétrico En La Ingeniería Mecánica Usando Como Herramienta El Autodesk Inventor Ver. 2008."
<http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/disenio-ingenieria-mecanica-autodesk-inventor/disenio-ingenieria-mecanica-autodesk-inventor.shtml>

Zurita de la Vega, E. "Curso de CAD PARAMÉTRICO con Microstation V8XM".
http://www.agrobyte.com/formacion/TEMA%201_param.pdf

"Chapa Y Pintura Elchapista.com." *Los Tipos De Plásticos Usados En El Automóvil.*
http://www.elchapista.com/nomenclaturas_e_informacion_de_tipos_de_plasticos.html

ANEXO I

TABLAS DE FACTORES PARA CÁLCULOS TEÓRICOS

TABLA 1. Cálculo por rotura. Engranajes Cilíndrico – rectos. Valores del factor de concentración de tensiones Y_{Sa} .

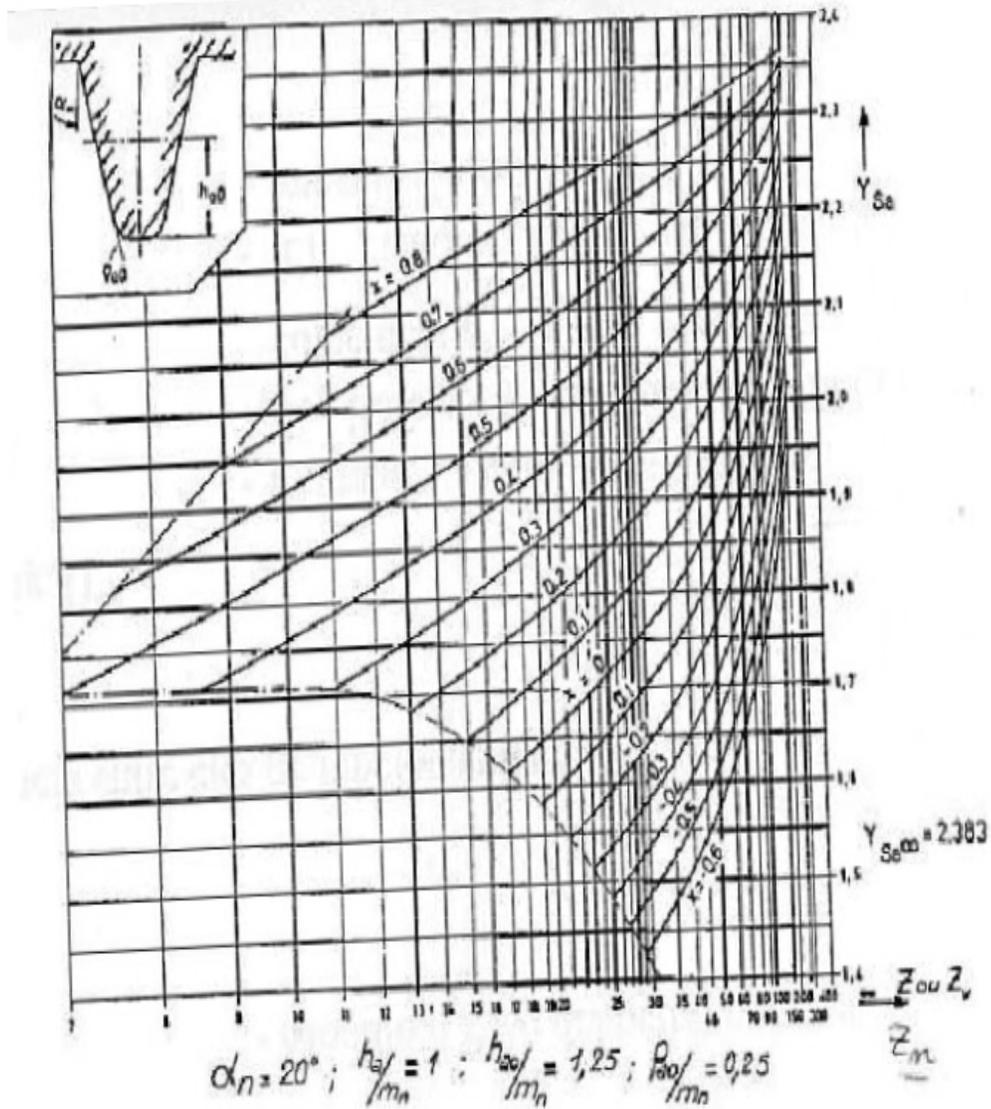


Figura A.1 Valores del factor de concentración de tensiones Y_{Sa}

TABLA 2. Cálculo por rotura. Engranajes Cilíndrico – rectos. Valores del factor de concentración de tensiones Y_{FA} .

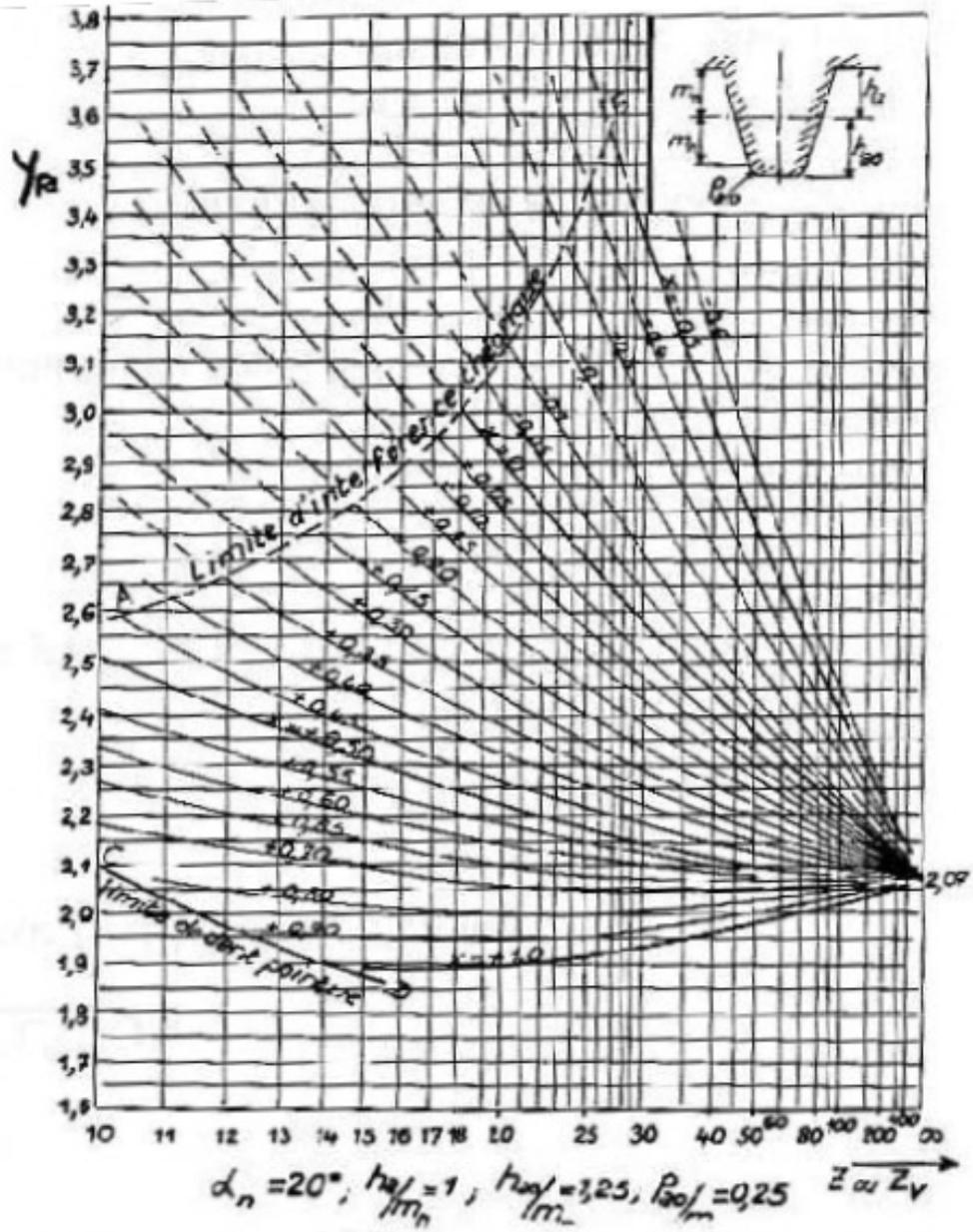


Figura A.2 Valores del factor de concentración de tensiones Y_{FA}

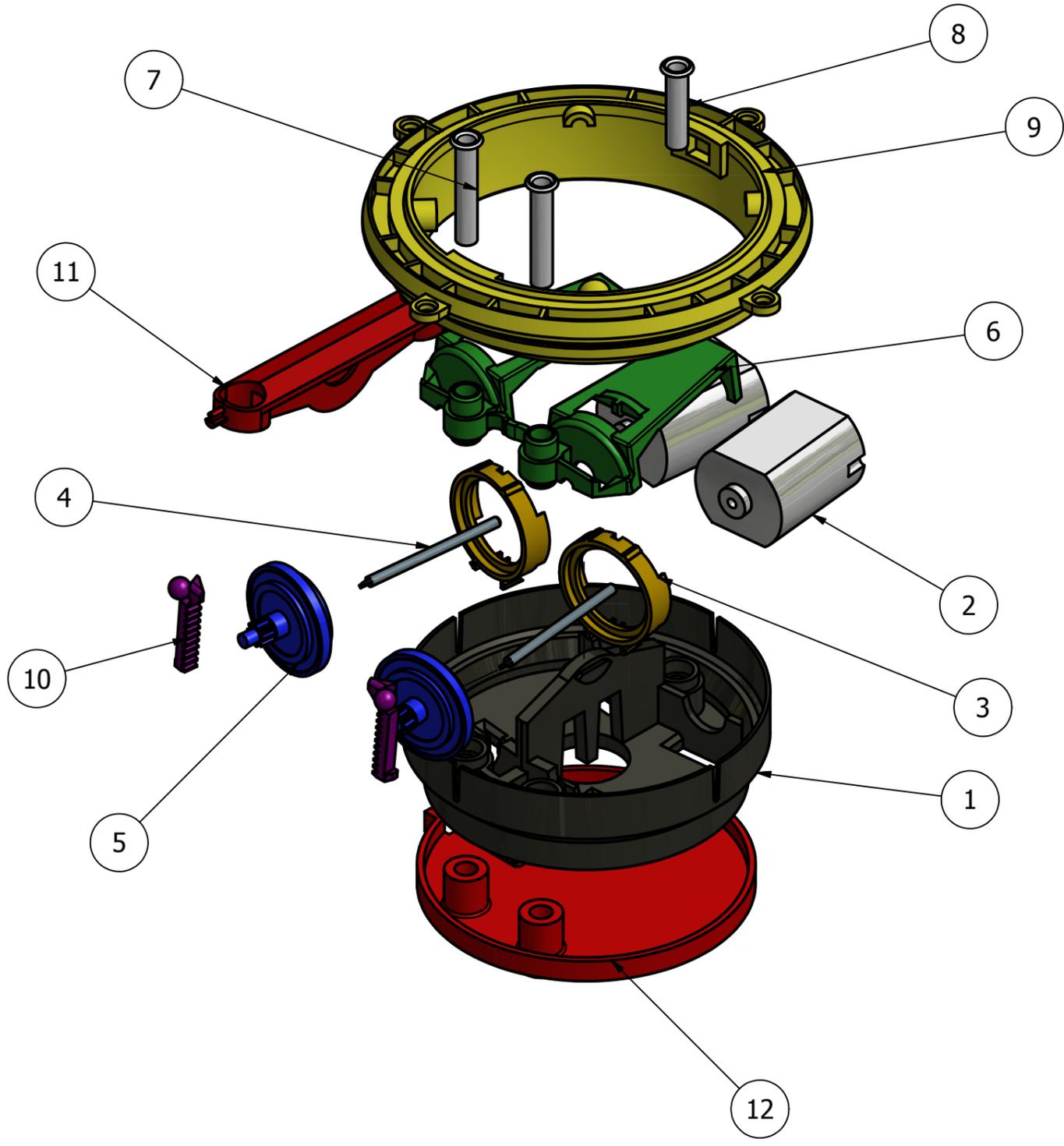
ANEXO II

PLANOS

6 5 4 3 2 1

D

D



LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Carcasa Base
2	2	Motor
3	2	Carcasa piñón
4	2	Eje Motor
5	2	Piñón
6	1	Carcasa Superior Motores
7	2	Casquillo Metálico
8	1	Casquillo Metálico 2
9	1	Carcasa Externa Superior
10	2	Cremallera
11	1	Pivotante
12	1	Carcasa Inferior

C

C

B

B

A

A

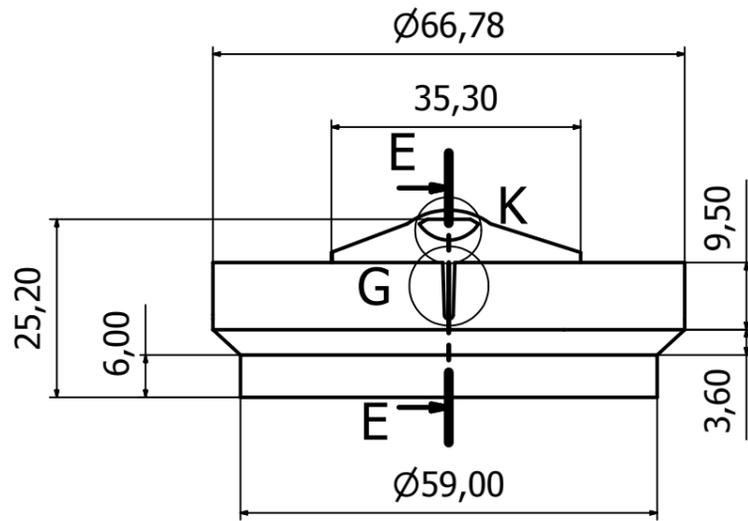
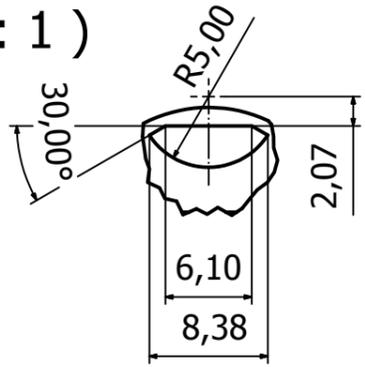
6 5 4 3 2 1

 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES) 	
"DISEÑO DEL MECANISMO DE UN RETROVISOR DE AUTOMÓVIL CON AUTODESK IVENTOR PROFESSIONAL"	
DISEÑADO POR: MARIO SOBA TOQUERO	VALLADOLID, JULIO, 2016 ESCALA: 1:1 PLANO Nº: 1/12

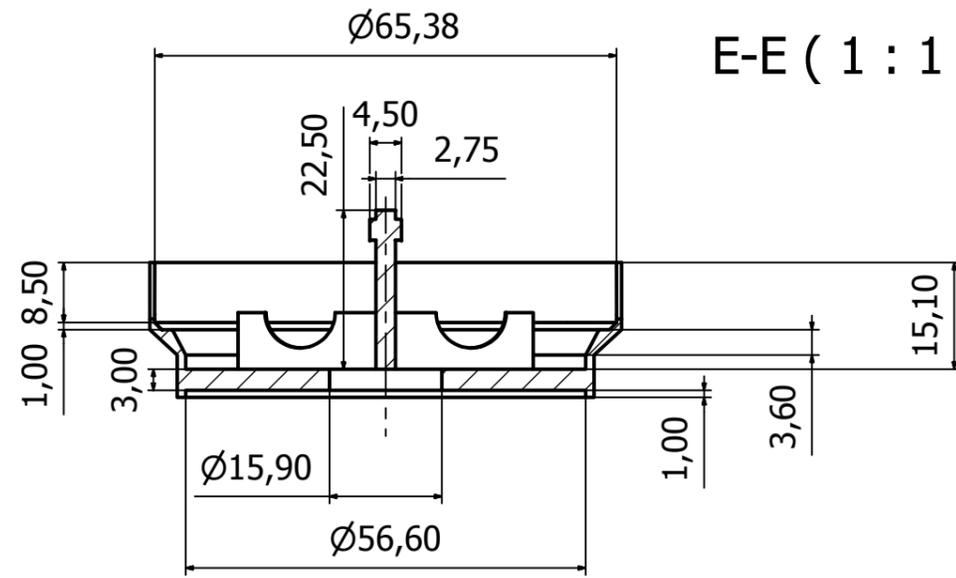
A

A

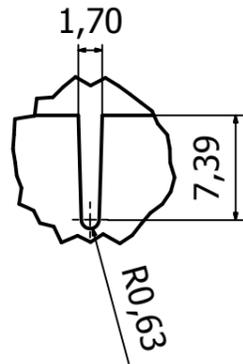
K (2 : 1)



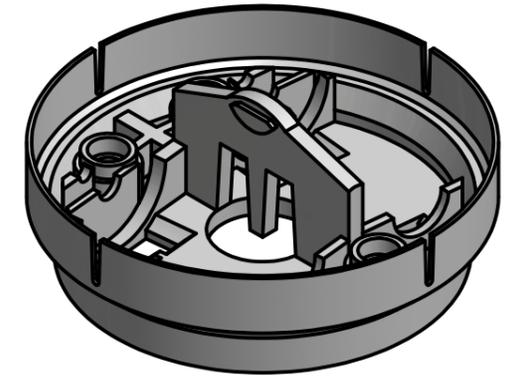
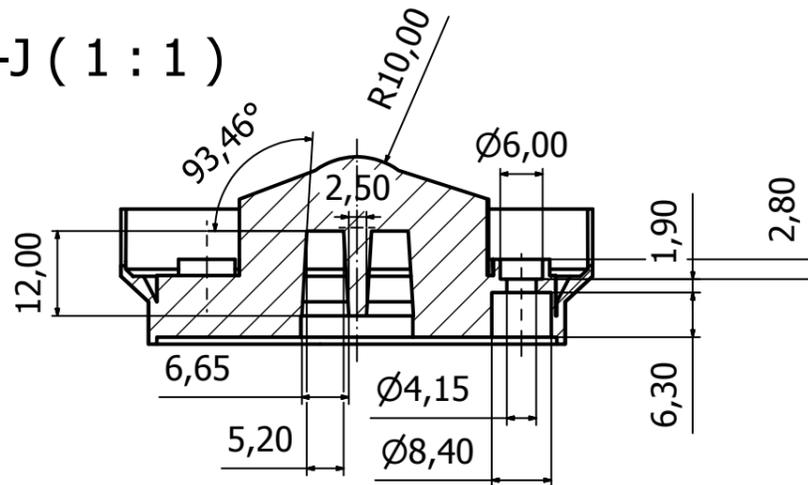
E-E (1 : 1)



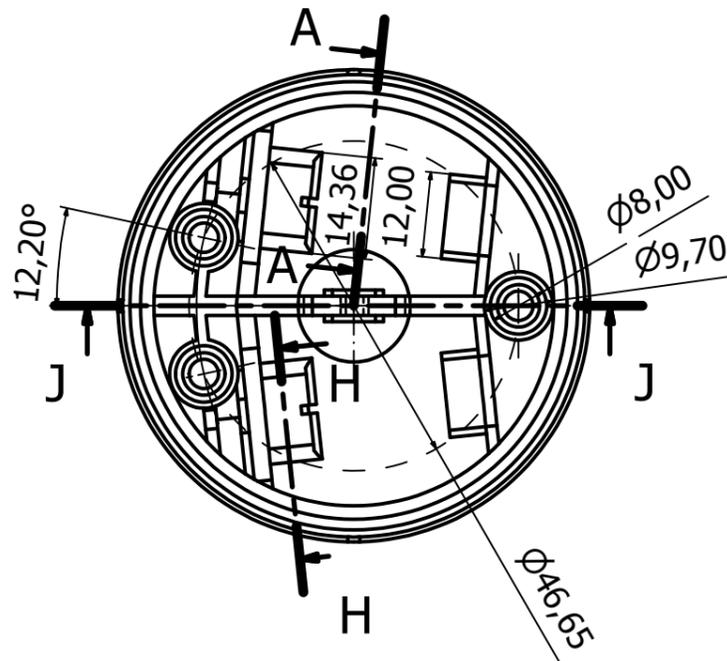
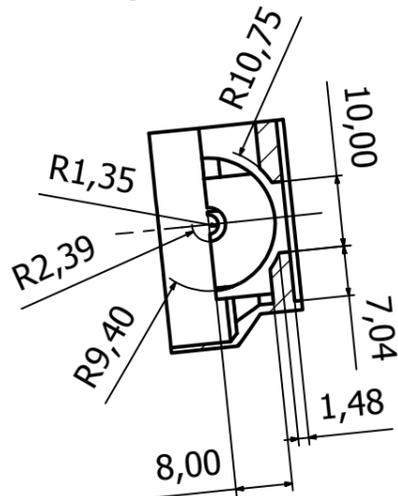
G (2 : 1)



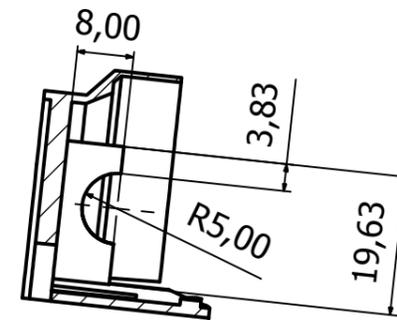
J-J (1 : 1)



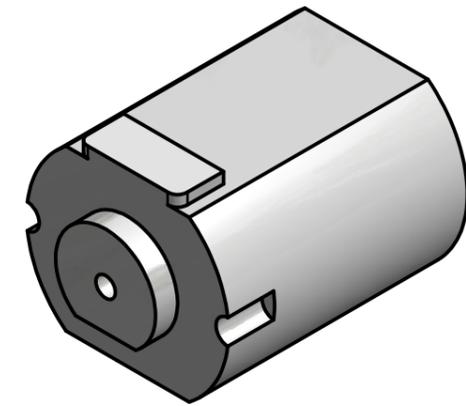
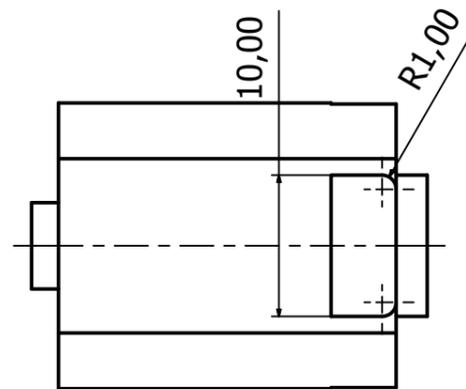
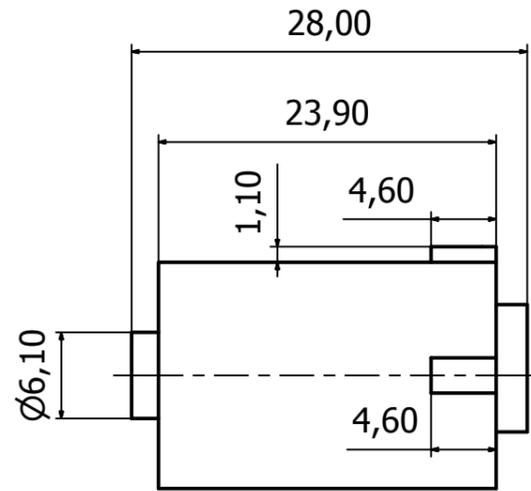
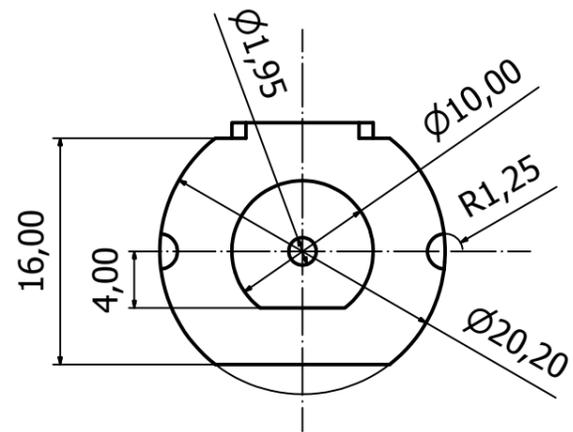
H-H (1 : 1)



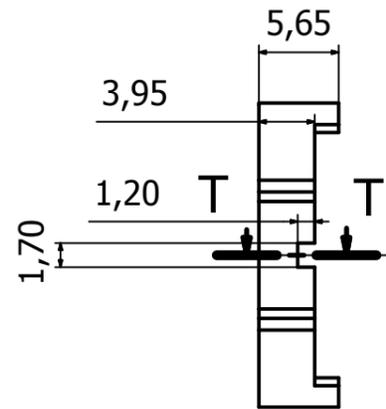
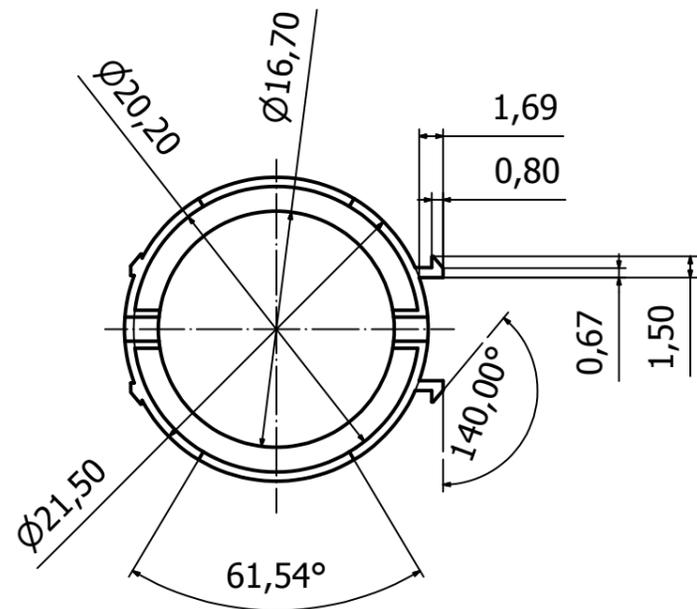
A-A (1 : 1)



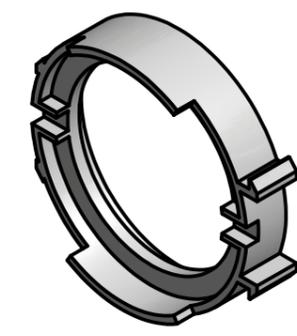
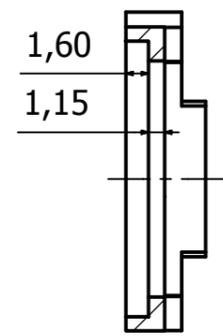
 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES)		
"DISEÑO DEL MECANISMO DE UN RETROVISOR DE AUTOMÓVIL CON AUTODESK IVENTOR PROFESSIONAL"		
DISEÑADO POR: MARIO SOBA TOQUERO	CARCASA BASE	VALLADOLID, JULIO, 2016 ESCALA: 1:1 PLANO N°: 2/12



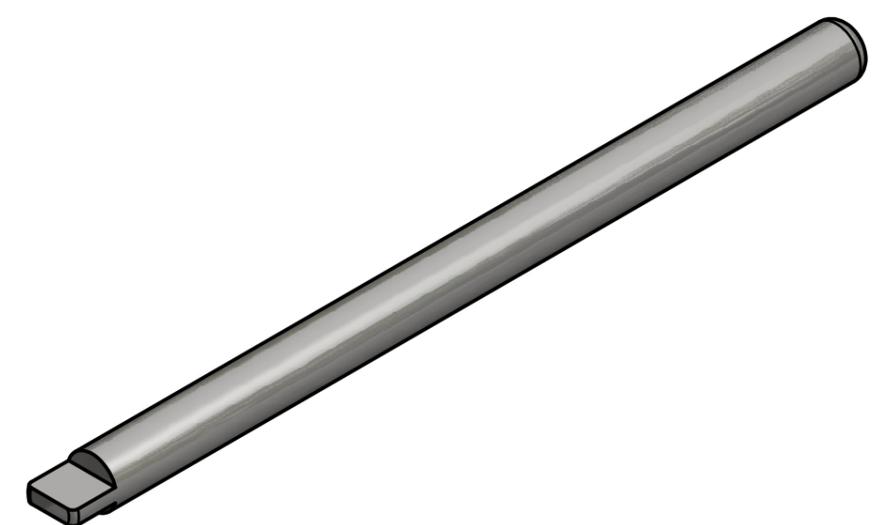
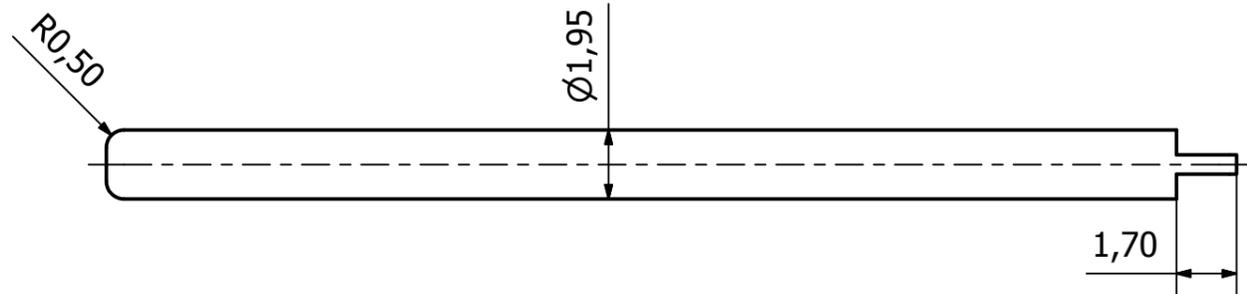
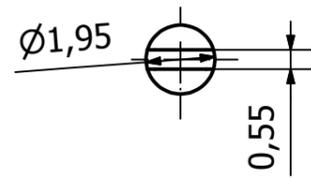
 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES) 	
"DISEÑO DEL MECANISMO DE UN RETROVISOR DE AUTOMÓVIL CON AUTODESK IVENTOR PROFESSIONAL"	
DISEÑADO POR: MARIO SOBA TOQUERO	MOTOR
VALLADOLID, JULIO, 2016	
ESCALA: 2:1	
PLANO N°: 3/12	



T-T (2: 1)



 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES) 		
"DISEÑO DEL MECANISMO DE UN RETROVISOR DE AUTOMÓVIL CON AUTODESK IVENTOR PROFESSIONAL"		
DISEÑADO POR: MARIO SOBA TOQUERO	CARCASA DEL PIÑÓN	VALLADOLID, JULIO, 2016 ESCALA: 2:1 PLANO N°: 4/12



 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES)		
"DISEÑO DEL MECANISMO DE UN RETROVISOR DE AUTOMÓVIL CON AUTODESK IVENTOR PROFESSIONAL"		
DISEÑADO POR: MARIO SOBA TOQUERO	EJE DEL MOTOR	VALLADOLID, JULIO, 2016
		ESCALA: 5:1
		PLANO N°: 5/12

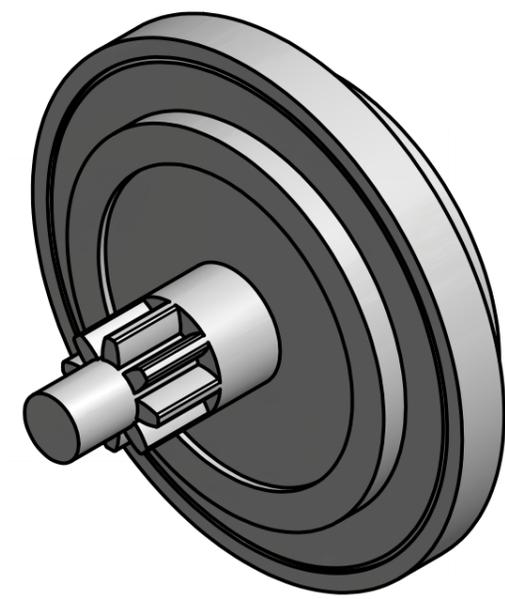
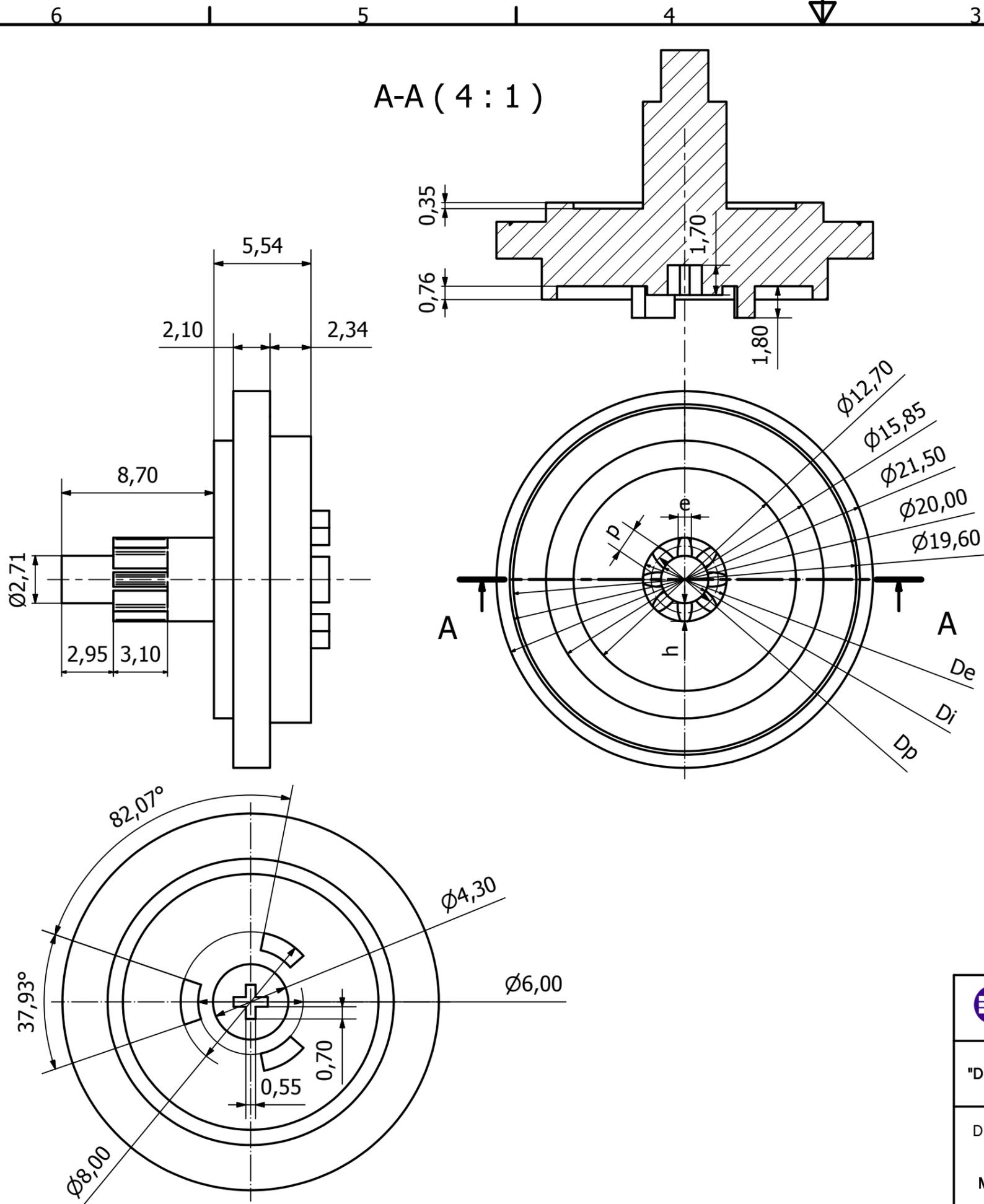
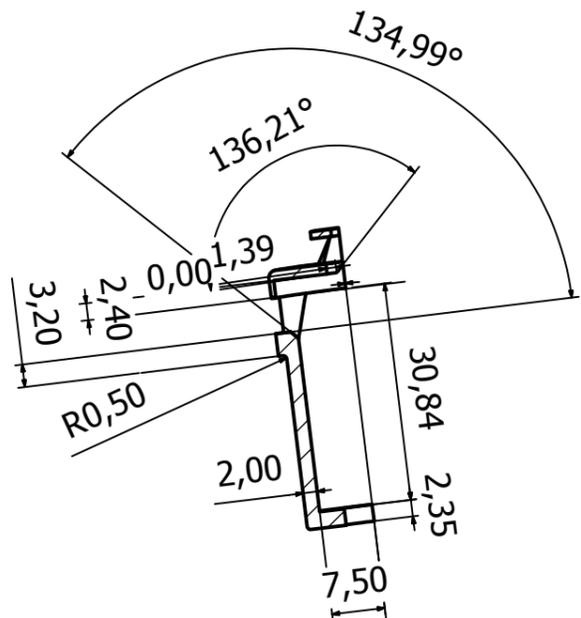


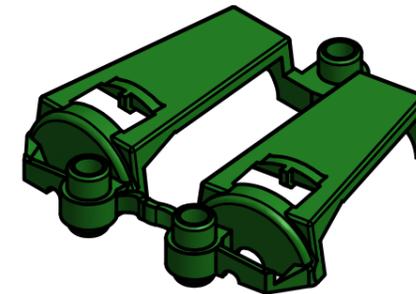
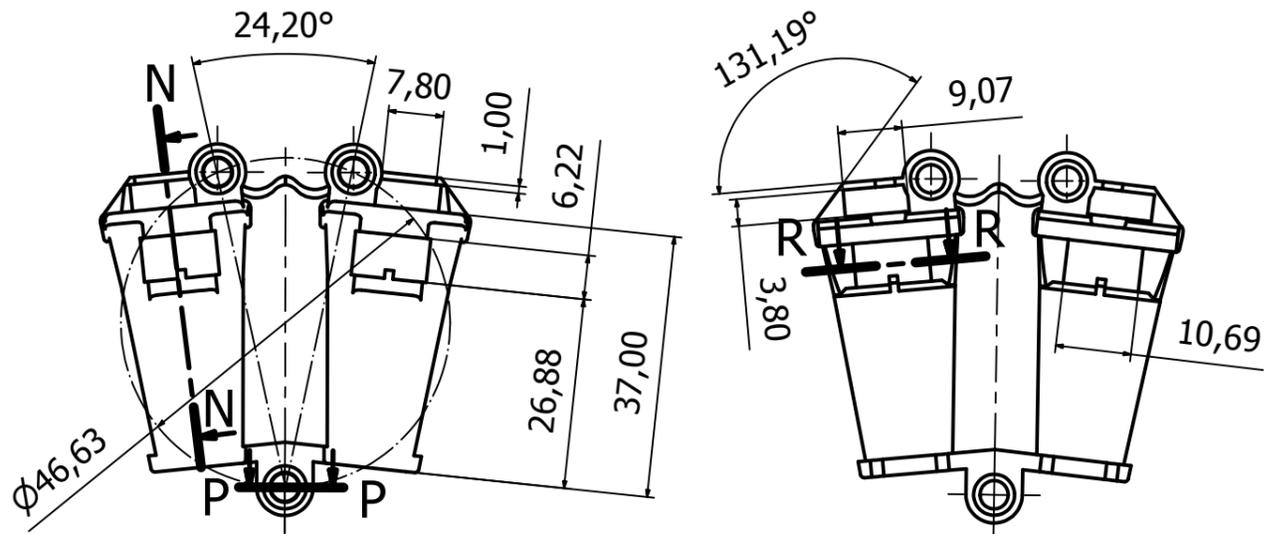
TABLA	
Terminología	Resultados
Diámetro primitivo (D_p)	3,82
Diámetro externo (D_e)	4,78
Diámetro interior (D_i)	2,71
Paso circular (p)	1,5
Número de dientes (Z)	8
Módulo (m)	0,48
Altura del diente (h)	1,04
Espesor del diente (e)	0,75

 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES) 	
"DISEÑO DEL MECANISMO DE UN RETROVISOR DE AUTOMÓVIL CON AUTODESK IVENTOR PROFESSIONAL"	
DISEÑADO POR:	VALLADOLID, JULIO, 2016
MARIO SOBA TOQUERO	ESCALA: 4:1
PIÑÓN	PLANO N°: 6/12

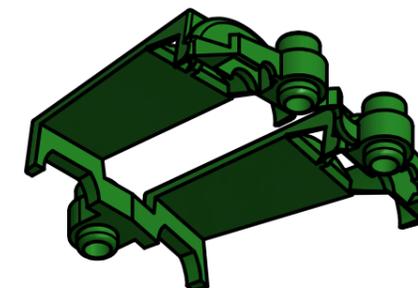
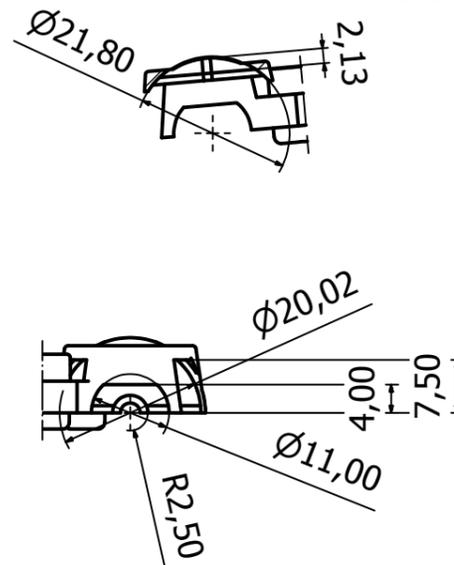
N-N (1 : 1)



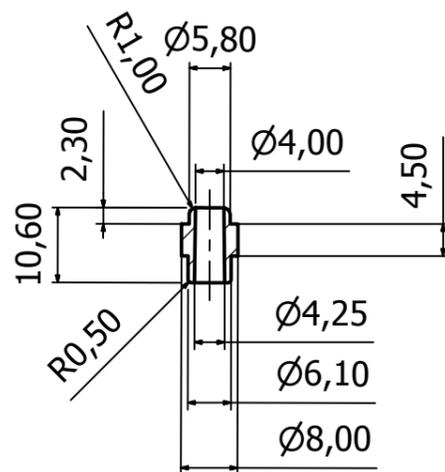
VISTA INFERIOR (1 : 1)



R-R (1 : 1)

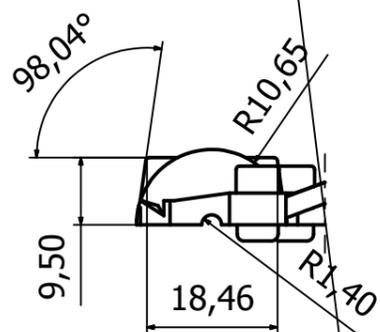


P-P (1 : 1)

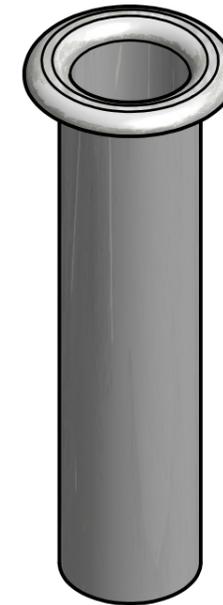
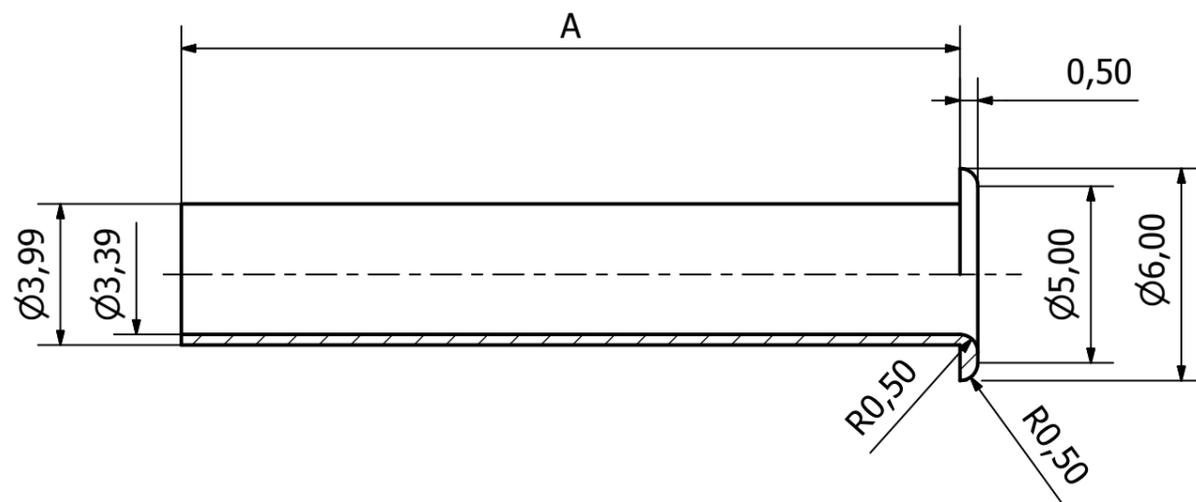


DETALLE TRASERO (1 : 1)

DETALLE FRONTAL (1 : 1)



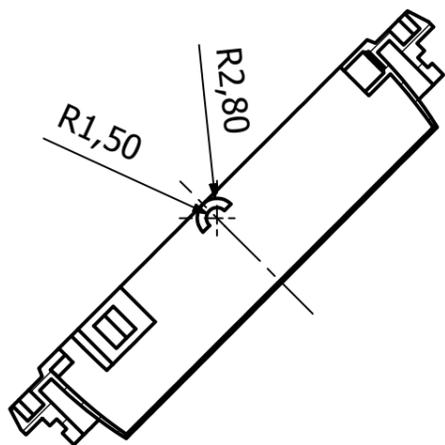
 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES) 	
"DISEÑO DEL MECANISMO DE UN RETROVISOR DE AUTOMÓVIL CON AUTODESK IVENTOR PROFESSIONAL"	
DISEÑADO POR: MARIO SOBA TOQUERO	VALLADOLID, JULIO, 2016 ESCALA: 1:1 PLANO N°: 7/12
CARCARA SUPERIOR MOTORES	



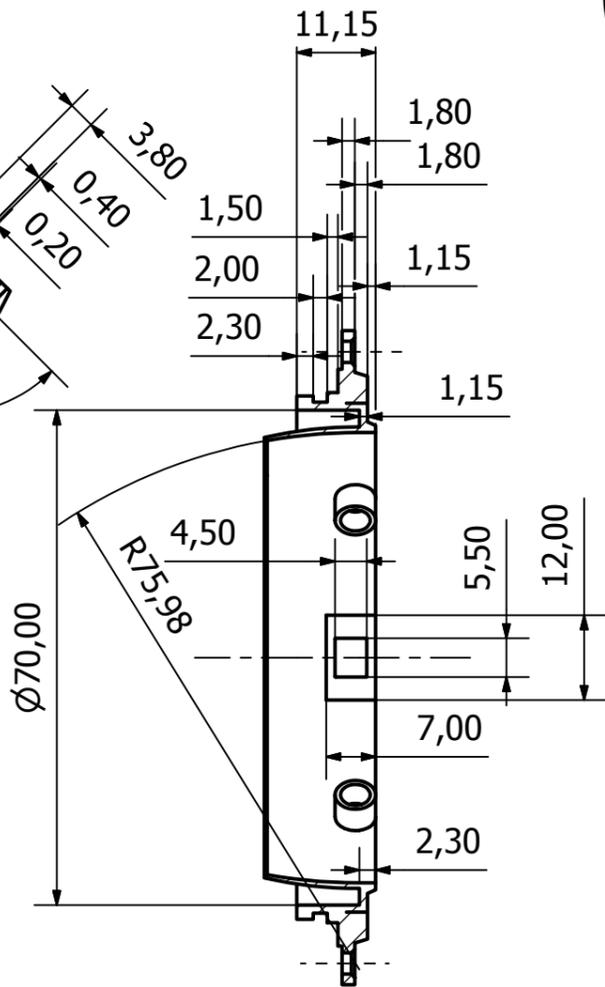
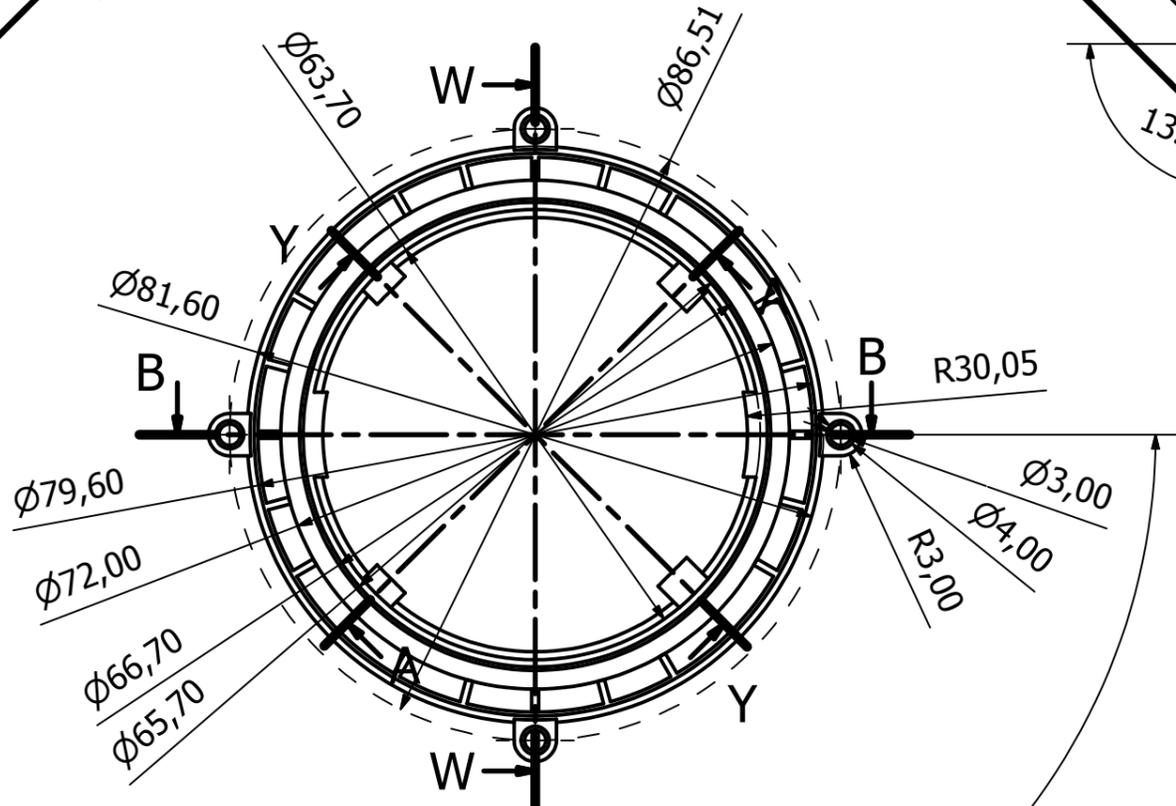
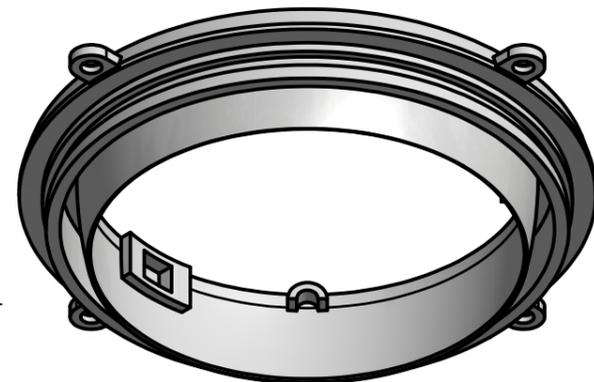
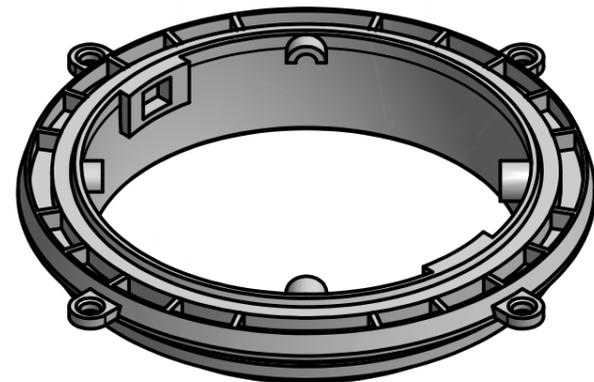
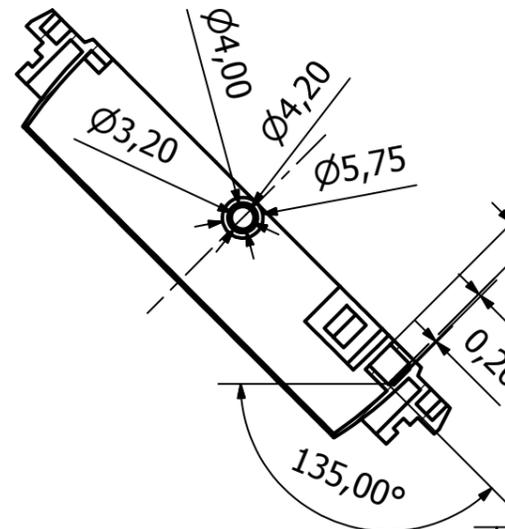
PASADOR METALICO A = 22,05 mm
 PASADOR METÁLICO 2 A = 16,9 mm

 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES)		
"DISEÑO DEL MECANISMO DE UN RETROVISOR DE AUTOMÓVIL CON AUTODESK IVENTOR PROFESSIONAL"		
DISEÑADO POR: MARIO SOBA TOQUERO	CASQUILLO METÁLICO	VALLADOLID, JULIO, 2016 ESCALA: 5:1 PLANO N°: 8/12

A-A (1:1)

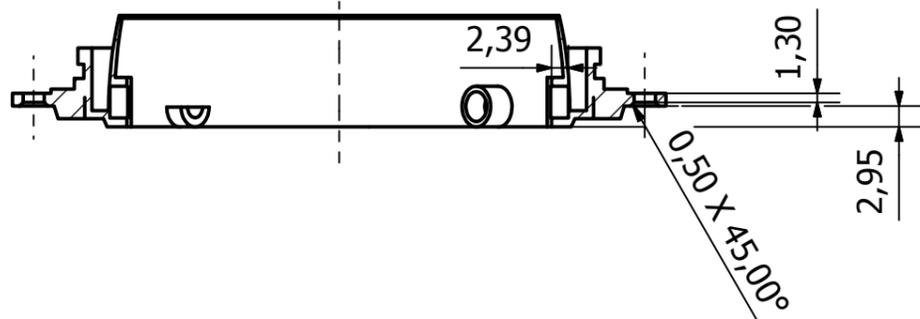


Y-Y (1:1)



W-W (1:1)

B-B (1:1)



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
(ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES)



"DISEÑO DEL MECANISMO DE UN RETROVISOR DE AUTOMÓVIL CON AUTODESK IVENTOR PROFESSIONAL"

DISEÑADO POR:

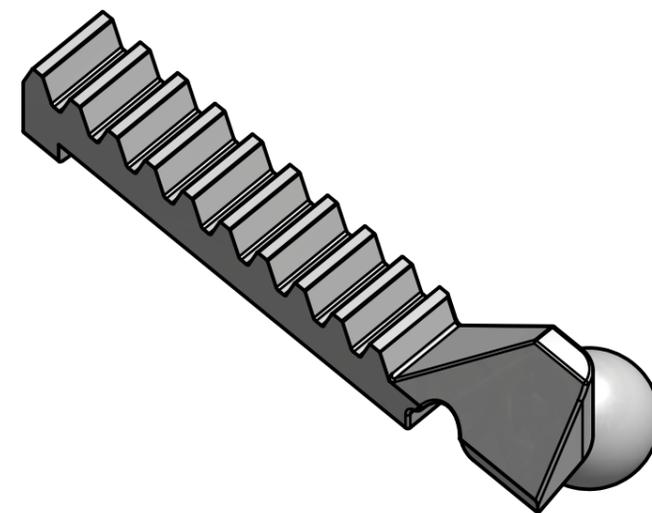
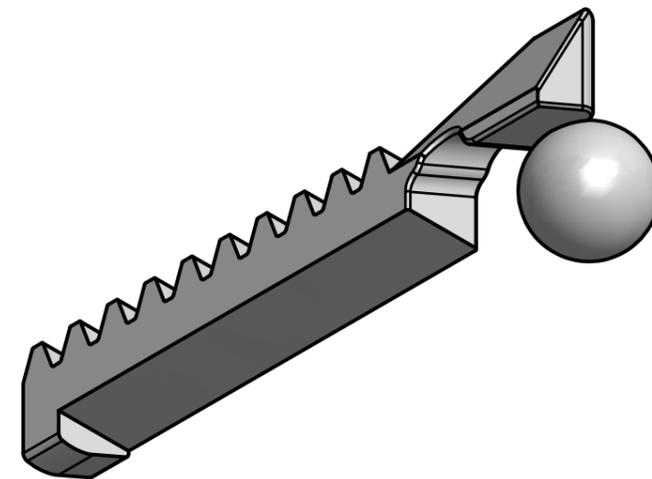
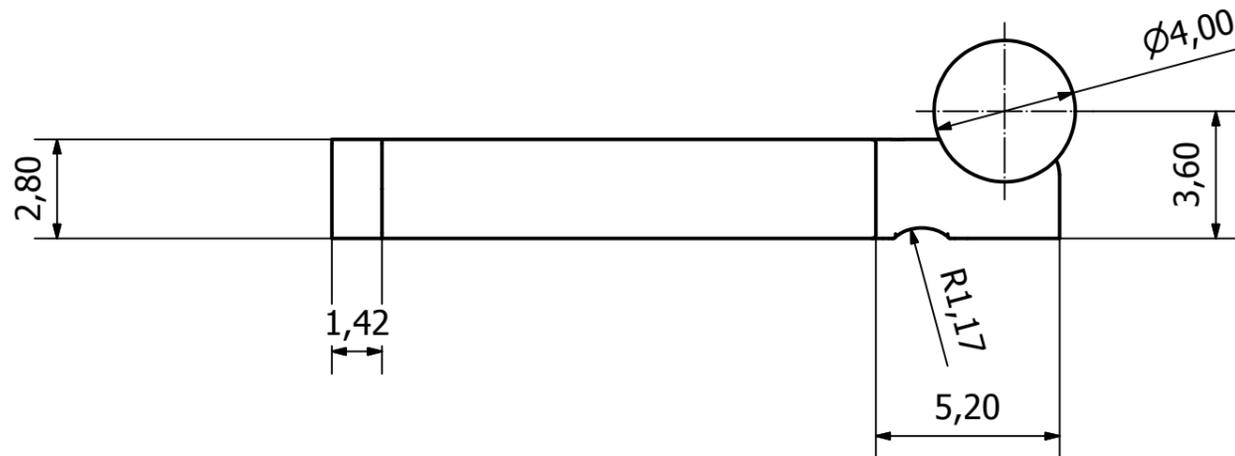
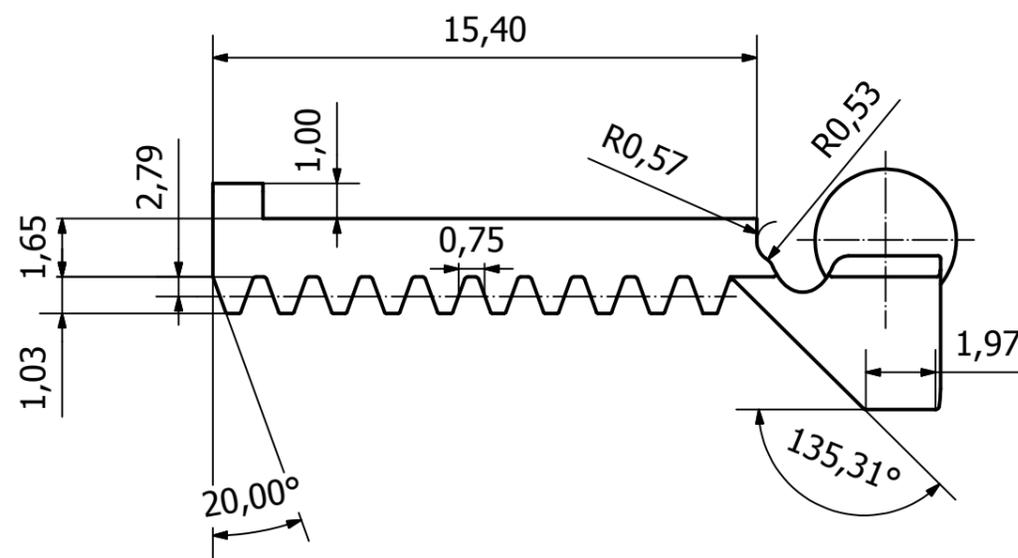
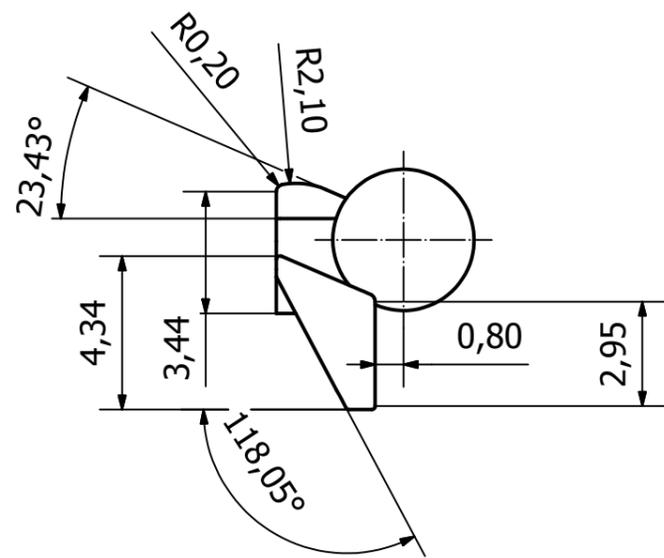
MARIO SOBA TOQUERO

CARCASA EXTERNA
SUPERIOR

VALLADOLID, JULIO, 2016

ESCALA: 1:1

PLANO Nº: 9/12



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
(ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES)



"DISEÑO DEL MECANISMO DE UN RETROVISOR DE AUTOMÓVIL CON AUTODESK IVENTOR PROFESSIONAL"

DISEÑADO POR:

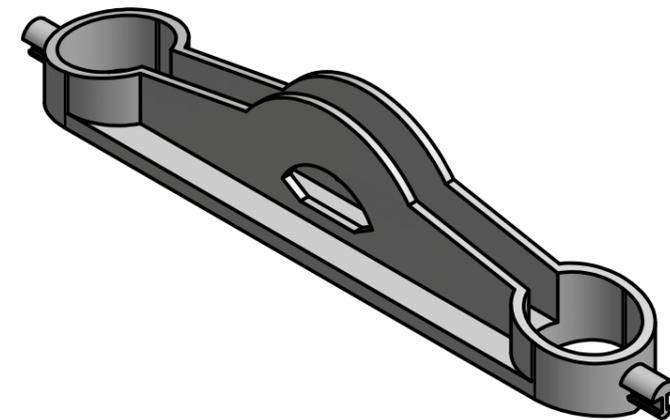
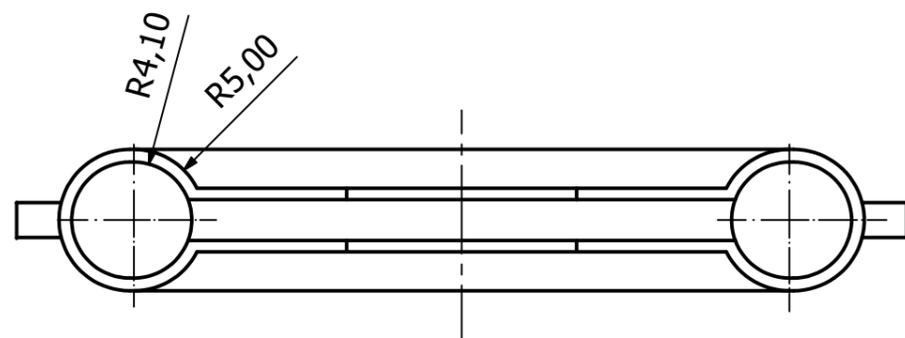
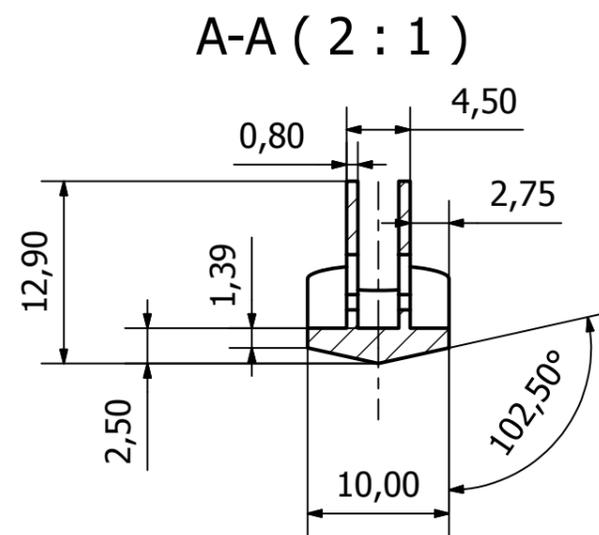
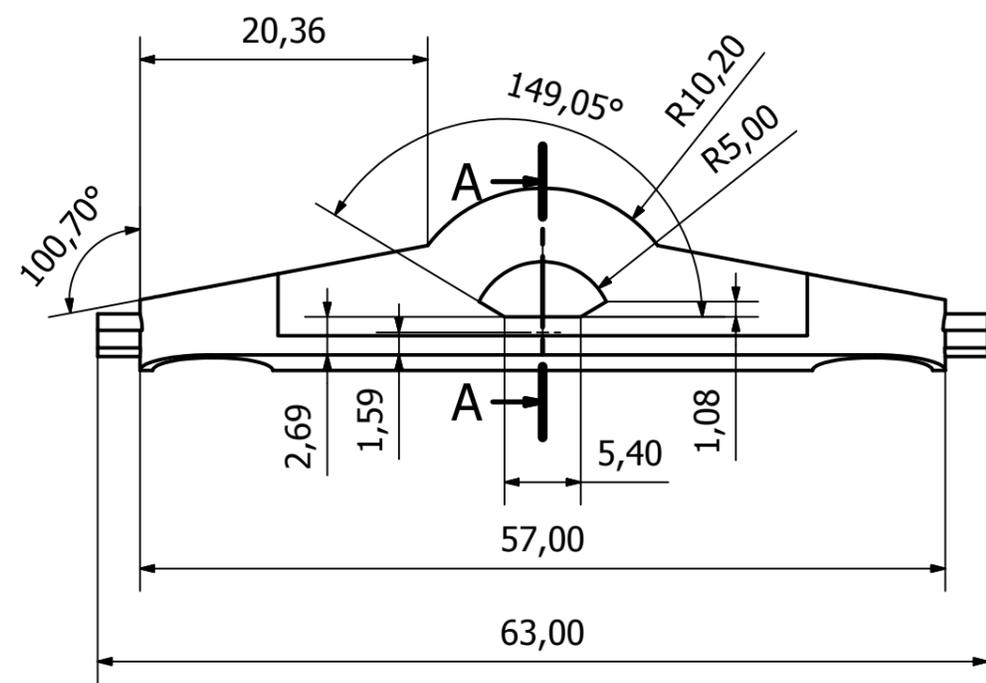
MARIO SOBA TOQUERO

CREMALLERA

VALLADOLID, JULIO, 2016

ESCALA: 5:1

PLANO N°: 10/12



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
(ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES)



"DISEÑO DEL MECANISMO DE UN RETROVISOR DE AUTOMÓVIL CON AUTODESK IVENTOR PROFESSIONAL"

DISEÑADO POR:

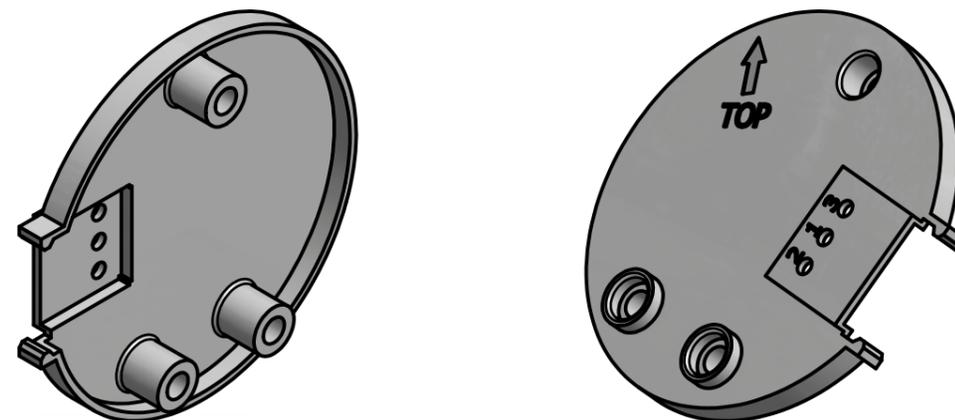
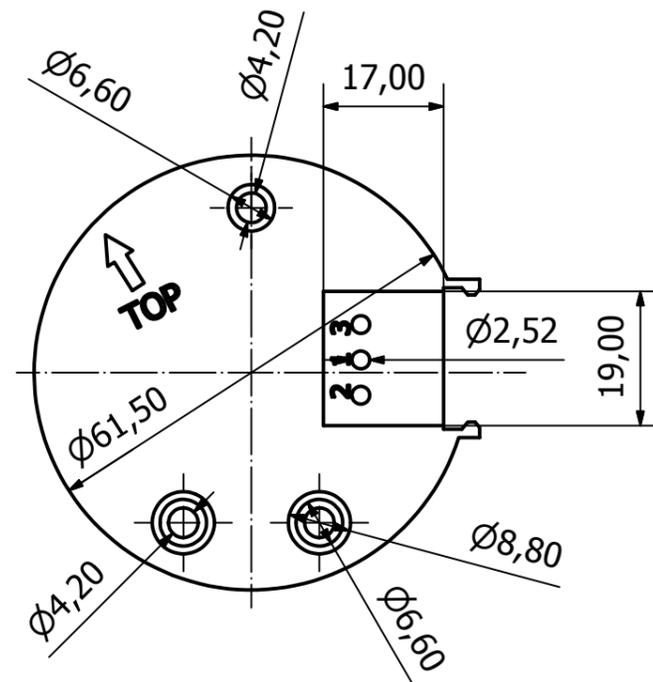
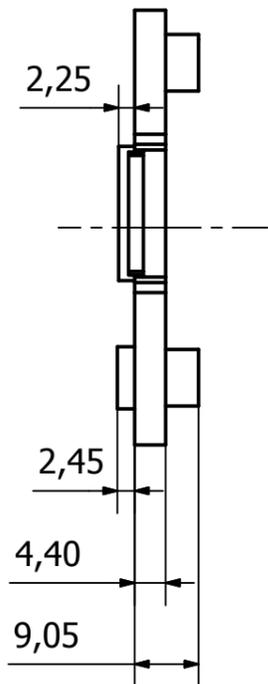
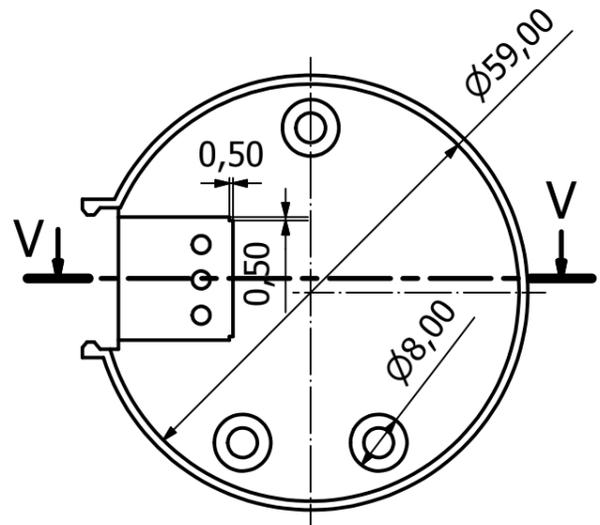
MARIO SOBA TOQUERO

PIVOTANTE

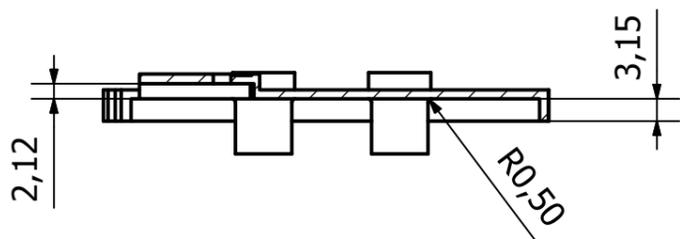
VALLADOLID, JULIO, 2016

ESCALA: 2:1

PLANO N°: 11/12



V-V (1 : 1)



 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES) 		
"DISEÑO DEL MECANISMO DE UN RETROVISOR DE AUTOMÓVIL CON AUTODESK IVENTOR PROFESSIONAL"		
DISEÑADO POR: MARIO SOBA TOQUERO	CARCASA INFERIOR	VALLADOLID, JULIO, 2016 ESCALA: 1:1 PLANO N°: 12/12