



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**Departamento: Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación**

**Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación**

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

# **Diseño y fabricación de maqueta didáctica del sistema de distribución desmosdrómico de Ducati**

Grado en INGENIERÍA MECÁNICA

Autor: D. CRISTIAN PEDRAZA LUQUE

Tutor: D. JESÚS JAVIER JIMENEZ GALEA

Cotutor: D. ISIDRO MARÍA SANTOS RÁEZ

**MÁLAGA, SEPTIEMBRE DE 2023**





## **Agradecimientos:**

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi familia, amigos y pareja, el apoyo incondicional que siempre me han ofrecido. Ha sido una carrera de fondo y, sin ellos, no lo hubiese conseguido. Todo esfuerzo supone una gran recompensa y para mí, el poder haber llegado hasta aquí, tras años de esfuerzo y sacrificio, es la mayor recompensa que hoy pueda recibir.

En segundo lugar, debo y quiero mencionar a mi tutor Jesús Javier Jiménez Galea. Ha sido un verdadero placer poder trabajar junto a él y poder sentir ese amor por su trabajo. Gracias Jesús, por tu dedicación, tus horas de esfuerzo, tu gran empatía, tu humildad y sencillez. Sin su gran aportación, esto no hubiese sido posible.

Finalmente, mencionar especialmente a mi gran amigo Ramón que, a lo largo de muchos años, me ha aportado un apoyo fundamental; no solo en cuanto a conocimientos en ingeniería sino también a nivel personal. También mencionar a Sofía quien ha supervisado a nivel gramatical este trabajo, porque de qué serviría tener conocimiento en un campo si no se sabe expresar correctamente.



## **Resumen:**

El mundo de la ingeniería automotriz está en constante evolución, diseñando nuevas configuraciones y nuevos sistemas. El presente trabajo de fin de grado se centra en los sistemas de distribución, siendo tema de estudio el sistema Desmodrómico de Ducati. El trabajo realiza un breve repaso por la historia de Ducati, donde se explican sus comienzos pasando por diferentes éxitos de la marca, aunque también ha tenido sus dificultades para mantenerse en el mercado.

Seguidamente, para obtener cierto conocimiento sobre lo que se tratará, se detallan brevemente las piezas que componen un motor, sus diferentes configuraciones y los diversos sistemas que lo constituyen y ayudan a su correcto funcionamiento. Posteriormente, se centra en los sistemas de distribución.

El presente TFG está orientado a la comprensión del sistema Desmodrómico, específicamente un sistema desmocuatro (cuatro válvulas por pistón, dos de admisión y dos de escape). Para ello, se desglosan los elementos que lo componen y su funcionamiento. Se elaborará una maqueta didáctica física para una mejor comprensión. Se explicará cómo se ha desarrollado el montaje de la maqueta, así como la selección de los materiales utilizados. Se ha optado por un montaje sencillo en madera para que se pueda observar la dinámica del sistema desmocuatro.

Se utilizará el programa SolidWorks para diseñar paso a paso las piezas, explicando las operaciones empleadas. Posteriormente, se ensamblarán las piezas y se realizará una vista explosionada para mejorar la comprensión de cómo se montan las piezas del sistema. A continuación, se simulará el movimiento en CAD.

Por último, se expondrán los planos, las mediciones y los presupuestos de la maqueta didáctica.

Palabras clave: motor de combustión interna alternativos, maqueta didáctica, sistema Desmodrómico, desmocuatro, Ducati.



## **Abstract:**

The world of automotive engineering is in constant evolution, designing novel configurations and innovative systems. This present undergraduate thesis centers on distribution systems, with a particular focus on studying Ducati's desmodromic system. The paper provides a concise overview of Ducati's history, tracing its origins through various brand successes, yet also acknowledging the challenges it has faced in maintaining a foothold in the market.

Subsequently, in order to establish a foundational understanding of the subject matter, the individual components that constitute an engine are briefly delineated, covering diverse configurations and the various systems that form and facilitate their proper operation. Following this, the spotlight shifts to distribution systems.

This current Bachelor's thesis is directed towards comprehending the desmodromic system, specifically honing in on a desmoquattro system (consisting of four valves per piston, two for intake and two for exhaust). To achieve this, the elements composing this system are dissected, along with an exploration of its functionality. A physical didactic model will be meticulously crafted to enhance understanding. This will encompass an explanation of the model assembly process, as well as an account of the materials chosen. A simple wooden assembly has been chosen to afford clear observation of the dynamics of the desmoquattro system.

The SolidWorks software will be employed to systematically design the components, elucidating the operations applied in the process. Subsequently, the components will be meticulously assembled, and an exploded view will be presented to enhance comprehension of the assembly of the system's components. Thereafter, the motion will be simulated using CAD software.

Finally, the blueprints, measurements, and budgetary details of the didactic model will be presented.

**Keywords:** internal combustion engines, didactic model, desmodromic system, desmoquattro, Ducati.



## Índice General

### Documento 1: Memoria Descriptiva

1. Introducción.....	11
2. Marco Normativo.....	12
3. Objetivos.....	13
4. Hechos históricos de Ducati.....	14
5. Fundamentos Teóricos.....	18
6. Clasificación de los motores de combustión interna según sus características.....	18
6.1. Motores de combustión según el tipo de combustión.....	18
6.2. Motores según su proceso de combustión.....	19
6.3. Tipos de motores según el movimiento del pistón.....	19
6.4. Motores según su secuencia de combustión.....	20
6.5. Motores según el número de etapas en el ciclo de trabajo.....	21
6.6. Motores según la disposición de cilindros.....	22
6.7. Según tipo de refrigeración.....	22
6.8. Motores según la presión del aire de admisión.....	23
7. Ventajas y desventajas de los motores de combustión.....	24
8. Elementos constructivos de los MCIA.....	25
9. Sistema de transmisión.....	39
10. Sistemas de lubricación.....	40
11. Sistemas de refrigeración.....	42
12. Sistema de distribución.....	44
12.1. Tipos de sistemas de distribución.....	54
12.1.1. Sistema de distribución Desmodrómico.....	67
13. Diseño de piezas y ensamblaje del conjunto elaborado con SolidWorks.....	70
14. Explosionado del sistema desmodrómico en solidworks.....	113
15. Puesta en movimiento y elaboración de videos de su funcionamiento y explosionado del sistema desmodrómico en solidworks.....	116
16. Proceso de elaboración y montaje de la maqueta didáctica física.....	122
17. Conclusiones.....	139

### Documento 2: Mediciones y Presupuestos

1. Mediciones.....	1
2. Presupuestos.....	2
2.1. Presupuestos de ejecución.....	2
2.2. Presupuesto final.....	3

### Documento 3: Planos

1. Relación de planos

### Documento 4: Bibliografía





**DOCUMENTO 1:**  
**MEMORIA DESCRIPTIVA**





## Índice de figuras

Figura 1. Primera Fábrica de Ducati. Fuente: DUCATISTA.AT [1].....	14
Figura 2. Primer motor de combustión de Ducati. Fuente: DUCATISTA.AT [1].....	14
Figura 3. Primera motocicleta de Ducati. Fuente: Esiritu Motor [2].....	15
Figura 4. Primera victoria en un campeonato. Fuente: Motosan [3].....	15
Figura 5. Ducati 750 GT. Fuente: MECUM AUCTIONS [4].....	16
Figura 6. Raymond Roche en 1990 sobre la Ducati 851. Fuente: TODOCIRCUITO [5].....	17
Figura 7. Ducati Indiana. Fuente: CUORE DESMO [6].....	17
Figura 8. Ducati Monster. Fuente: SlateFR [7].....	17
Figura 9. Motor de combustión interna. Fuente: MAKINANDO [8].....	19
Figura 10. Partes de una cámara de combustión. Fuente: ELECTROMECAÁNICA [9].....	19
Figura 11. Motor rotativo. Fuente: Lapps.es [10].....	20
Figura 12. Bujía. Fuente: Repuestospagan [11].....	20
Figura 13. Etapas de la combustión en un motor de cuatro tiempos. Fuente: MOTOY CASCO [12].....	21
Figura 14. Etapas de la combustión en un motor de cuatro tiempos. Fuente: REVISTA MOTO [13].....	22
Figura 16. Refrigeración por líquido. Fuente: Motorgiga.com [14].....	22
Figura 17. Refrigeración por aire. Fuente: Pasionbiker.com [15].....	23
Figura 18. Esquema de motor sobrealimentado. Fuente: MonkeyMOTOR [16].....	24
Figura 19. Explosionado de un MCIA. Fuente: MECANICA AUTOMOTRIZ [17].....	25
Figura 20. Bloque motor integral. Fuente: ActualidadMotor [18].....	26
Figura 21. Bloque motor con camisas. Fuente: futurosmaquinistas [19].....	27
Figura 22. Camisa seca. Fuente: Ingenieromarinero [20].....	27
Figura 23. Camisa seca. Fuente: Ingenieromarinero [20].....	28
Figura 24. Partes de un pistón. Fuente: Como Funciona [21].....	29
Figura 25. Bulón y ubicación del Bulón. Fuente: pruebaderuta.com [22].....	30
Figura 26. Bulón flotante. Fuente: ieselcano.es [23].....	30
Figura 27. Bulón semi-flotante. Fuente: EcuRed [24].....	31
Figura 28. Partes de una Biela. Fuente: cnice [25].....	31
Figura 29. Biela enteriza. Fuente: ActualidadMotor [26].....	32
Figura 30. Biela aligerada. Fuente: ActualidadMotor [26].....	32
Figura 31. Biela Fork-and-blade. Fuente: aviamech.blogspot.com [27].....	33
Figura 32. Biela articulada. Fuente: pruebaderuta [22].....	33
Figura 33. Cojinete. Fuente: pruebaderuta [22].....	34
Figura 34. Partes del Cigüeñal. Fuente: ResearchGate [28].....	35



Figura 35. Partes de un Volante de Inercia. Fuente: Como Funciona [29] .....	36
Figura 36. Cárter húmedo. Fuente: Ingeniería Mecafenix [30].....	36
Figura 37. Esquema de Cárter seco. Fuente: Wikipedia [31].....	37
Figura 38. Partes de una Culata. Fuente: geocities.ws [32].....	37
Figura 39. Tipos de Cámara de combustión. Fuente: Motorgiga.com [33].....	38
Figura 40. Junta culata. Fuente: cochescom/noticias [34].....	39
Figura 41. Partes de la transmisión manual. Fuente: automecanico.com [35] .....	39
Figura 42. Partes de la transmisión automática. Fuente: ForoMecanicos.com [36].....	40
Figura 43. Partes de una Refrigeración mixta. Fuente: AUTOYTÉCNICA.COM [37] .....	43
Figura 44. Explosionado y partes del Sistema de distribución (Más usado). Fuente: Ajuste de Motor [38] .....	44
Figura 45. Partes del Eje de levas. Fuente: ELECTROMECAÁNICA [39].....	44
Figura 46. Parámetros geométricos de una leva. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [39].....	46
Figura 47. Parámetros geométricos de una leva. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [39].....	47
Figura 48. Balancín basculante. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [39] .....	48
Figura 49. Balancín oscilante. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [39].....	48
Figura 51. Muelles de Válvulas. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [39] .....	50
Figura 52. Geometrías de Válvulas. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [39].....	51
Figura 53. Diagrama de distribución y Grafica de tiempos de válvulas. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [39] .....	53
Figura 54. Sistema OHC. Fuente: pruebaderuta.com [40].....	54
Figura 55. Sistema OHC con accionamiento directo e indirecto. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [41].....	54
Figura 56. Sistema OHV. Fuente: pruebaderuta.com [45].....	56
Figura 57. Sistema SV. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [41].....	58
Figura 58. Sistema SOHC. Fuente: MECANICADELAMOTO.COM [42] .....	59
Figura 59. Sistema DOHC. Fuente: MECANICADELAMOTO.COM [42] .....	60
Figura 60. Sistema VTEC. Fuente: autonoción.com [43] .....	62
Figura 61. Sistema I-VTEC. Fuente: blog Mecánicos [44].....	63
Figura 62. Sistema 3 Stage VTEC. Fuente: espíritu RACER [45].....	64
Figura 63. Sistema VVT-I (Posición de retardo). Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [46] .....	65
Figura 64. Sistema VVT-I (Posición de avance). Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [46].....	65
Figura 65. Sistema VVTL-I. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [46] .....	66
Figura 66. Sistemas Desmodrómicos. Fuente: blog Mecánicos [47] .....	67
Figura 67. Sistema Desmodrómico de Ducati. Fuente: clubjapo [48].....	68



## Índice de tablas

Tabla 1. Ventajas y Desventajas del sistema OHC. Fuente: Propia .....	56
Tabla 2. Ventajas y Desventajas del sistema OHV. Fuente: Propia .....	57
Tabla 3. Ventajas y Desventajas del sistema SV. Fuente: Propia.....	59
Tabla 4. Comparativa de los sistemas SOHC y DOHC. Fuente: Propia .....	61
Tabla 5. Desglose de los sistemas de distribución variable. Fuente: Propia.....	61
Tabla 6. Ventajas y Desventajas del sistema VTEC. Fuente: Propia .....	62
Tabla 7. Comparación de parámetros cinemáticos de los sistemas VVT-i y VVTL-i. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [46].....	67



## Índice de figura de la maqueta en SolidWorks

Figura 1.1. Croquis inicial de la Válvula de admisión. Fuente: SolidWorks.....	72
Figura 1.2. Extrusión por revolución de la Válvula de admisión. Fuente: SolidWorks.....	72
Figura 1.3. Resultado final de la Válvula de admisión. Fuente: SolidWorks .....	73
Figura 2.1. Resultado final de la Válvula de escape. Fuente: SolidWorks .....	74
Figura 3.1. Croquis de la pieza guía. Fuente: SolidWorks .....	74
Figura 3.2. Operación de revolución de la pieza guía. Fuente: SolidWorks.....	75
Figura 3.3. Resultado final de la pieza de guía. Fuente: SolidWorks .....	75
Figura 4.1. Croquis Taqué. Fuente: SolidWorks .....	76
Figura 4.2. Extrusión de saliente/base en pieza Taqué. Fuente: SolidWorks .....	77
Figura 4.3. Corte de pieza Taqué. Fuente: SolidWorks .....	77
Figura 5.1. Croquis Eje 2. Fuente: SolidWorks .....	78
Figura 5.2. Generación de eje de revolución en Eje 2. Fuente: SolidWorks .....	78
Figura 5.3. Operación de revolución de Eje 2. Fuente: SolidWorks .....	79
Figura 5.4. Resultado final de Eje 2. Fuente: SolidWorks.....	79
Figura 6.1. Croquis de Leva 1. Fuente: SolidWorks .....	80
Figura 6.2. Extrusionado de Leva 1. Fuente: SolidWorks .....	81
Figura 6.3. Resultado final de Leva 1. Fuente: SolidWorks .....	81
Figura 7.1. Croquizado de Leva 2. Fuente: SolidWorks .....	82
Figura 7.2. Extrusionado de leva 2. Fuente: SolidWorks .....	83
Figura 7.3. Resultado final de Leva 2. Fuente: SolidWorks .....	83
Figura 8.1. Croquis de Balancín 2. Fuente: SolidWorks .....	84
Figura 8.2. Extrusionado de croquis de Balancín 2. Fuente: SolidWorks. ....	85
Figura 8.3. Croquis para la operación recorte en Balancín 2. Fuente: SolidWorks .....	85
Figura 8.4. Extrusionado de Recorte en croquis de Balancín 2. Fuente: SolidWorks .....	85
Figura 8.5. Segundo croquis de Balancín 2. Fuente: SolidWorks .....	86
Figura 8.6. Recorte de segundo croquis de Balancín 2. Fuente: SolidWorks .....	87
Figura 8.7. Primera operación de redondeo en Balancín 2. Fuente: SolidWorks .....	88
Figura 8.8. Segunda operación de redondeo en Balancín 2. Fuente: SolidWorks .....	88
Figura 8.9. Tercera operación de redondeo en Balancín 2. Fuente: SolidWorks.....	89
Figura 8.10. Balancín 2 (Resultado final). Fuente: SolidWorks .....	89
Figura 9.1. Balancín 1 (Croquis 1). Fuente: SolidWorks .....	90
Figura 9.2. Balancín 1 (Extrusionado de Croquis 1). Fuente: SolidWorks .....	91
Figura 9.3. Balancín 1 (Croquis 2). Fuente: SolidWorks .....	91
Figura 9.4. Balancín 1 (Extrusionado de Croquis 2). Fuente: SolidWorks .....	92



Figura 9.5. Balancín 1 (Croquis 3). Fuente: SolidWorks .....	92
Figura 9.6. Balancín 1 (Extrusionado de Croquis 3). Fuente: SolidWorks .....	93
Figura 9.7. Balancín 1 (Croquis 4). Fuente: SolidWorks .....	93
Figura 9.8. Balancín 1 (Extrusionado de corte de Croquis 4). Fuente: SolidWorks .....	94
Figura 9.9. Balancín 1 (Croquis 5). Fuente: SolidWorks .....	94
Figura 9.10. Balancín 1 (Extrusionado de corte de Croquis 5). Fuente: SolidWorks .....	95
Figura 9.11. Balancín 1 (Croquis 6). Fuente: SolidWorks .....	95
Figura 9.12. Balancín 1 (Extrusionado de corte de Croquis 6). Fuente: SolidWorks .....	96
Figura 9.13. Balancín 1 (Redondeo 1). Fuente: SolidWorks .....	96
Figura 9.14. Balancín 1 (Croquis 7). Fuente: SolidWorks .....	97
Figura 9.15. Balancín 1 (Extrusionado de corte de Croquis 7). Fuente: SolidWorks .....	97
Figura 9.16. Balancín 1 (Redondeo 2). Fuente: SolidWorks .....	97
Figura 9.17. Balancín 1 (Redondeo 3). Fuente: SolidWorks .....	98
Figura 9.18. Balancín 1 (Redondeo 4). Fuente: SolidWorks .....	98
Figura 9.19. Balancín 1 (Resultado final). Fuente: SolidWorks .....	98
Figura 10.1. Eje 1 (Croquis 1). Fuente: SolidWorks .....	99
Figura 10.2. Eje 1 (Extrusión por revolución de croquis 1). Fuente: SolidWorks .....	99
Figura 10.3. Eje 1 (Resultado final). Fuente: SolidWorks .....	100
Figura 11.1. Soporte (Croquis). Fuente: SolidWorks .....	100
Figura 11.2. Soporte (Extrusionado). Fuente: SolidWorks .....	101
Figura 11.3. Soporte (Resultado final). Fuente: SolidWorks .....	101
Figura 12.1. Soporte (Paso “flotar”). Fuente: SolidWorks .....	102
Figura 12.1. Soporte (Paso “Relación Coincidente”). Fuente: SolidWorks .....	103
Figura 13.1. Eje 1 (Paso “Relación Concentrica”). Fuente: SolidWorks .....	104
Figura 13.2. Eje 1 (Paso Crear “línea de partición”). Fuente: SolidWorks .....	104
Figura 13.3. Eje 1 (Paso “Relación Coincidente”). Fuente: SolidWorks .....	105
Figura 14.1. Eje 2 (Paso piezas paralelas). Fuente: SolidWorks .....	106
Figura 15.1. Soporte (Paso “Ocultar”). Fuente: SolidWorks .....	106
Figura 16.1. Ubicación de Balancín 1 y Balancín 2. Fuente: SolidWorks .....	108
Figura 17.1. Ubicación de Leva 1 y Leva 2. Fuente: SolidWorks .....	109
Figura 18.1. Válvula de escape y Válvula de admisión (Paso ángulo de inclinación). Fuente: SolidWorks .....	110
Figura 18.2. Válvula de escape y Válvula de admisión (“Relación Tangente”). Fuente: SolidWorks .....	110
Figura 19.1. Operaciones para la ubicación de Taqué. Fuente: SolidWorks .....	111
Figura 20.1. Operaciones para la ubicación de Guía. Fuente: SolidWorks .....	112
Figura 21.1. Crear correa. Fuente: SolidWorks .....	113



Figura 21.1. Paso 1 para el explosionado. Fuente: SolidWorks .....	114
Figura 21.2. Paso 2 para el explosionado. Fuente: SolidWorks .....	115
Figura 21.3. Paso 3 para el explosionado. Fuente: SolidWorks .....	115
Figura 22.1. Resultado final del Explosionado. Fuente: SolidWorks .....	116
Figura 23.1. Activación de complementos del programa. Fuente: SolidWorks .....	116
Figura 23.2. Motor de maqueta. Fuente: SolidWorks.....	117
Figura 23.3. Características del motor. Fuente: SolidWorks .....	117
Figura 23.4. Simulación de funcionamiento. Fuente: SolidWorks .....	118
Figura 23.5. Video de la puesta en marcha. Fuente: SolidWorks .....	118
Figura 23.6. Salvar video. Fuente: SolidWorks.....	119
Figura 23.7. Compresión del video. Fuente: SolidWorks.....	119
Figura 23.8. Explosionar animación. Fuente: SolidWorks .....	120
Figura 23.9. Configuración de video. Fuente: SolidWorks .....	120
Figura 23.10. Salvar video de Explosionado. Fuente: SolidWorks .....	121
Figura 23.11. Compresión del video de Explosionado. Fuente: SolidWorks .....	121
Imagen 1. Planta inferior de la sujeción superior de los árboles de levas. Fuente: Propia .....	122
Imagen 2. Planta superior de la sujeción superior de los árboles de levas. Fuente: Propia .....	123
Imagen 3. Eje 2 y balancín 2. Fuente: Propia .....	123
Imagen 4. Eje 1, balancín 1, resorte y sujeción de resorte. Fuente: Propia .....	124
Imagen 5. Válvula y Taqué. Fuente: Propia .....	124
Imagen 6. Vista en detalle de la parte superior de la válvula y Taqué. Fuente: Propia .....	125
Imagen 7. Piñón y árbol de levas. Fuente: Propia .....	125
Imagen 8. Vista frontal del ensamblaje de la sujeción superior de los árboles de levas y estructura. Fuente: Propia .....	126
Imagen 9. Estructura de la maqueta. Fuente: Propia .....	126
Imagen 10. Vista de los rebajes realizados. Fuente: Propia.....	127
Imagen 11. Estructura. Fuente: Propia .....	127
Imagen 12. Ensamble de eje 2 en balancín 2. Fuente: Propia.....	128
Imagen 13. Conjunto de balancín 1. Fuente: Propia.....	128
Imagen 14. Vista en planta superior del conjunto de balancín 1. Fuente: Propia .....	129
Imagen 15. Válvula con soporte. Fuente: Propia.....	129
Imagen 16. Vista frontal de Válvula con soporte. Fuente: Propia .....	130
Imagen 17. Ensamble de válvula y Taqué. Fuente: Propia.....	130
Imagen 18. Vista en detalle del ensamblaje de válvula y Taqué. Fuente: Propia .....	131
Imagen 19. Ensamble de sujeción superior de los árboles de levas y eje 1. Fuente: Propia.....	131
Imagen 20. Perfil de madera para la estructura. Fuente: Propia .....	132



Imagen 21. Vista frontal del ensamblaje de sujeción superior de los árboles de levas, estructura y eje 1 con piñón. Fuente: Propia.....	132
Imagen 22. Colocación de bulón. Fuente: Propia.....	133
Imagen 23. Vista interior 1 de la maqueta. Fuente: Propia.....	134
Imagen 24. Vista interior 2 de la maqueta. Fuente: Propia.....	134
Imagen 25. Vista interior: Contacto del Balancín 1 a la válvula. Fuente: Propia .....	135
Imagen 26. Vista interior 3. Fuente: Propia.....	135
Imagen 27. Vista interior: Contacto de los balancines con las válvulas. Fuente: Propia.....	136
Imagen 28. Vista perfil del ensamblaje. Fuente: Propia .....	136
Imagen 29. Vista interior: Contacto de leva 1 con el balancín 1. Fuente: Propia .....	137
Imagen 30. Vista perfil del interior. Fuente: Propia .....	137
Imagen 31. Vista perfil 1 de la maqueta finalizada. Fuente: Propia .....	138
Imagen 32. Vista perfil 2 de la maqueta finalizada. Fuente: Propia .....	138



Índice de acrónimos:

**CAD:** Computer-Aided Design

**OHC:** OverHead Camshaft

**OHV:** Overhead Valve

**SV:** Side Valves

**SOHC:** Single Overhead Camshaft

**DOHC:** Double Overhead Camshaft

**VTEC:** Variable Valve Timing and Lift Electronic Control

**VVT-I:** Variable Valve Timing with Intelligence

**UNE:** Unidad de Normalización Española

**EN:** European Norm

**MEC:** Motores de Encendido por Compresión

**MEP:** Motores de Encendido Provocado

**PMI:** Punto Muerto Inferior

**PMS:** Punto Muerto Superior

**MCIA:** Motor de Combustión Interna Alternativa

**V8:** 8 Válvulas

**V12:** 12 Válvulas

**2T:** 2 Tiempos

**4T:** 4 Tiempos

**1T:** 1 Tiempo

**3T:** 3 Tiempos

**AA:** Apertura de Admisión

**AAA:** Avance Apertura de Admisión

**CA:** Cierre de Admisión

**RCA:** Retroceso Cierre de Admisión

**AAE:** Avance Apertura de Escape

**AE:** Apertura de Escape

**CE:** Cierre de Escape



**RCE:** Retraso de Cierre de Escape

**MCI:** Motor de Combustión Interna

**RPM:** Revoluciones Por Minuto

**VTEC-E:** Variable Valve Timing and Lift Electronic Control

**I-VTEC:** Variable Valve Timing and Lift Electronic Control) e "intelligent"  
(inteligente).

**ECU:** "Unidad de Control del Motor".

**CAD:** Computer-Aided Design",

**CAM:** Computer-Aided Manufacturing



## 1. Introducción

La industria del motor es un sector que está en constante evolución gracias al estudio perseverante y necesidad a cubrir en el mercado. En el presente trabajo de fin de grado, se realizará un breve repaso histórico para ver la evolución de los motores de combustión y los diferentes sistemas de cierre y apertura de válvulas; centrándose en el Desmodrómico de Ducati, el cual, como se podrá observar, posee una gran ventaja respecto a los diferentes sistemas en este tipo de máquinas, debido a ciertas exigencias de funcionamiento. También se mencionarán sus inconvenientes.

Posteriormente, se detallarán los elementos de este. Fabricación para la realización de una maqueta de carácter didáctico que constará de un explosionado del sistema Desmodrómico desmocuatro.

Por último, la maqueta estará compuesta por una estructura, un circuito eléctrico básico que accionará el movimiento del mecanismo para ayudar a la comprensión y visualización del movimiento de este sistema.



## 2. Objetivos

El presente proyecto buscará obtener un mayor conocimiento sobre la formación y funcionamiento en motores de combustión, destacando los diferentes sistemas de distribución. Se centrará en el sistema Desmodrómico, concretamente en el desmoquatro, debido a las grandes ventajas que este ofrece, en comparación con los diferentes sistemas de levas en la industria de los motores de combustión interna alternativos.

Para el diseño y la fabricación de las distintas secciones de la maqueta, se utilizará el software SolidWorks. Se realizará un estudio del sistema, tanto de la geometría de las piezas como de la cinemática del sistema. Además, se modelará y ensamblará la maqueta para verificar que el ensamblaje funciona correctamente y, por último, se montará el prototipo.

Por otra parte, se llevará a cabo una selección de materiales y un estudio de ensamblaje para el diseño y la fabricación de una maqueta didáctica de carácter físico, que consistirá en un sistema desmoquatro físico.

Finalmente, se podrán comparar ambos modelos, físico y virtual, y se podrán sacar conclusiones.



### 3. Marco Normativo

En la elaboración del presente trabajo de fin de grado es necesario tener en cuenta diferentes normas para la correcta elaboración del montaje de la maqueta didáctica:

- UNE 26463:1996. Motores de combustión interna. Encendido por bujías. Terminología.
- UNE 26340:1992: Motores alternativos de combustión interna. Designación del sentido de rotación de los cilindros y de las válvulas en la culata, así como la definición de los motores en línea derecha e izquierda y emplazamiento de un motor.
- ISO/DIS 7967-3: Reciprocating internal combustion engines -Vocabulary of components and systems. Part 3: Valves, Camshaft drives and actuating mechanisms.
- UNE-EN 10030:1998. Materiales para válvulas de motores de combustión interna.
- UNE-EN 10090:1998. Materiales y aleaciones para válvulas de motores de combustión interna.

#### 4. Hechos históricos de Ducati

En 1926 nace Ducati, fundada por Antonio Cavaliere Ducati y sus tres hijos: Bruno, Adriano y Marcelo. Actualmente, Ducati es reconocida por sus logros en el mundo del motor; pero no siempre fue así, en sus comienzos, esta factoría se dedicaba a la producción de componentes electrónicos para radio. Debido al éxito obtenido, aumentaron el número de ventas y decidieron crear una nueva instalación en Borno (Panigale), siendo esta víctima de bombardeos por la guerra mundial, lo que provocó la destrucción de prácticamente todas sus instalaciones.

Tras estos acontecimientos, Ducati empezó a sumergirse en el mundo del motor de combustión, creando su primera motocicleta Ducati Cucciolo en los años 50 que luego fue conocida como 55M, la cual tuvo un gran éxito a nivel mundial.



Figura 1. Primera Fábrica de Ducati. Fuente: DUCATISTA.AT [1]

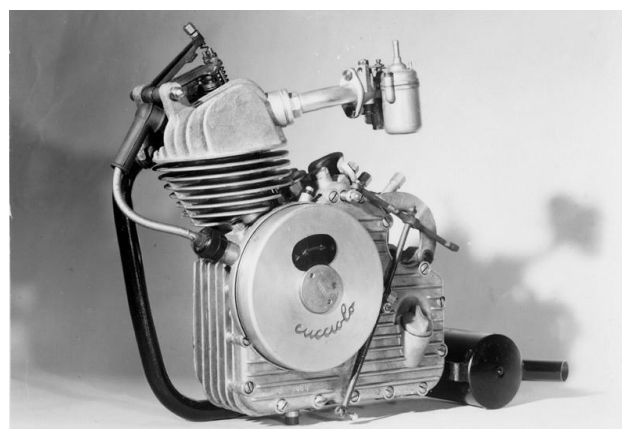


Figura 2. Primer motor de combustión de Ducati. Fuente: DUCATISTA.AT [1]



Figura 3. Primera motocicleta de Ducati. Fuente: Esiritu Motor [2]

Tras el gran éxito de su primera motocicleta, los hermanos Ducati decidieron separar el campo de la electrónica y mecánica, poniendo al mando al ingeniero Fabio Taglioni; el cual obtendría, con el tiempo, un gran reconocimiento en el mundo del motor por la creación de sus motocicletas, destacando entre ellas:

- Año 1952: Cruiser 175cc primera motocicleta con arranque eléctrico y transmisión automática.
- Año 1954: Tourist 174, Fabio Tagnoli construyó el motor monocilíndrico equipado con un monoEje 1 de 4 tiempos.
- Año 1959: la Ducati 125 Desmo, por ganar su primer GP en 1959.



Figura 4. Primera victoria en un campeonato. Fuente: Motosan [3]

Posteriormente, en los años 60, se consiguió aumentar la cilindrada de sus motores asegurando así mantenerse en los primeros puestos. Sin embargo, esto no fue suficiente para sostener económicamente la insignia. La crisis económica llegó hasta tal punto que

el gobierno inyectó dinero en Ducati para salvar la marca y así poder seguir adelante con la producción.

En los años 70, se produjo un cambio de directiva. Ahora, el encargado de seguir potenciando la marca sería Taglioni, con el objetivo de fabricar un nuevo motor bicilíndrico de 750 cc. A raíz de este hecho, surgió la emblemática Ducati GT del 71. Ducati propuso ponerla a competir, consiguiendo su primera victoria en Imola en 1972. Actualmente, los motores de Ducati se basan en el motor de la Ducati 750cc.



Figura 5. Ducati 750 GT. Fuente: MECUM AUCTIONS [4]

Se considera oportuno destacar que Fabio Taglioni fue el creador del motor Desmodrómico, el cual determina la diferencia con respecto a otras marcas, puesto que posee grandes ventajas en comparación a los demás sistemas de distribución y por lo que actualmente se sigue usando. Este hecho suscitó que la marca consiguiera un gran palmarés y tener una reputación en cuanto a símbolo de motocicletas de calidad se refiere. A pesar de las victorias conseguidas y la evolución a nivel de exigencias, la marca Ducati siguió en decadencia.

Todo empieza a cambiar positivamente a mitad de los años 80 donde tomó el mando Cagiva. Fue un pionero al implementar el primer motor de cuatro válvulas por desplazamiento positivo en la Ducati 851, siendo una gran referencia en el mundo de la competición por ganar ocho de los diez mundiales que disputó.



Figura 6. Raymond Roche en 1990 sobre la Ducati 851. Fuente: TODOCIRCUITO [5]

Esta manufactura llevaba tiempo luchando para superar a Harley-Davidson con su Ducati Indiana sin obtener el resultado deseado; sin embargo, en los años 90 nació la Ducati Monster, la cual fue su vehículo de dos ruedas con más éxito, ya que en 2005 se vendió la mitad de las unidades de la marca.



Figura 7. Ducati Indiana. Fuente: CUORE DESMO [6]



Figura 8. Ducati Monster. Fuente: SlateFR [7]

## 5. Fundamentos Teóricos

### Definición

Un motor se define como un conjunto de piezas que interaccionan de forma mecánica para transformar energía química de un combustible, en energía mecánica. En la presente descripción se abarca una gran variedad de grupos de motores. Este proyecto se enfoca en los motores térmicos, los cuales convierten la energía térmica de un fluido compresible en energía mecánica.

### Funcionamiento

El combustible es suministrado y mezclado con el aire en una cantidad específica, esto es uno de los pasos necesarios para mover el émbolo gracias a la combustión. La energía cinética generada en el émbolo provoca un movimiento rectilíneo de vaivén, el cual se transfiere al cigüeñal que se encarga de transformar este movimiento rectilíneo en movimiento circular y, sucesivamente, este movimiento se va transfiriendo a mecanismos internos que componen el motor para su constante movimiento.

## 6. Clasificación de los motores de combustión interna según sus características

### 6.1. Motores de combustión según el tipo de combustión

#### Motores de combustión externa

Se trata de máquinas donde la combustión ocurre en el exterior de ellas, como se puede ver en la *Figura 9*; la combustión se realiza en la chimenea, evaporando el agua de la caldera para convertirla en vapor y así este, por gradientes de presiones, pasa al cilindro, transformando esta energía térmica en mecánica; posteriormente, el vapor será expulsado por la válvula de salida continuando su paso al condensador y transformándose de nuevo en agua.

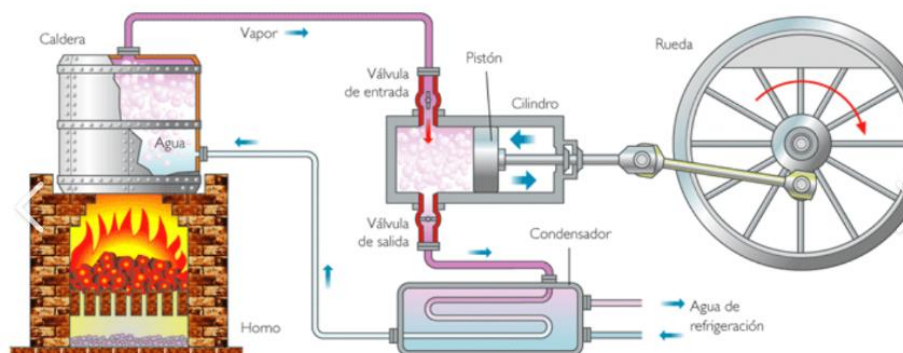


Figura 9. Motor de combustión interna. Fuente: MAKINANDO [8]

## Motores de combustión interna

Se trata de máquinas donde la combustión ocurre dentro de ellas, en la *Figura 9* se puede apreciar la zona de combustión, sería entre las válvulas el émbolo. Consiste en un ciclo abierto donde la mezcla que se suministra en el interior de la cámara se expulsa al exterior.

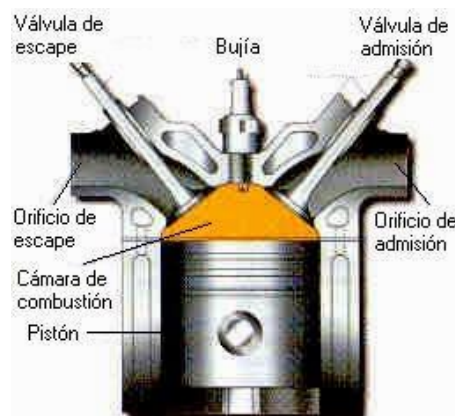


Figura 10. Partes de una cámara de combustión. Fuente: ELECTROMECAÁNICA [9]

## 6.2. Motores según su proceso de combustión

### Motores de combustión continua

Tanto el paso del de los gases como el combustionado se realiza de forma continua, es el caso de la *Figura 10*.

### Motores de combustión discontinua

Tanto el paso del de los gases como el combustionado se realiza de forma intermitente, es el caso de la *Figura 9*.

## 6.3. Tipos de motores según el movimiento del pistón

### Transmisión alternativa

Estos motores transforman el movimiento lineal en movimiento rotativo, dicho movimiento lineal del pistón es transmitido al cigüeñal que es el encargado de convertir el movimiento lineal en rotativo.

### Transmisión rotativa o WANKEL

A diferencia de los alternativos que tienen pistón, los WANKEL tienen rotores que hacen que el movimiento del motor sea suave, silencioso y fiable.

El funcionamiento se realiza también en cuatro tiempos como los alternativos, pero ocurren en lugares diferentes como se puede ver en la *Figura 11*.

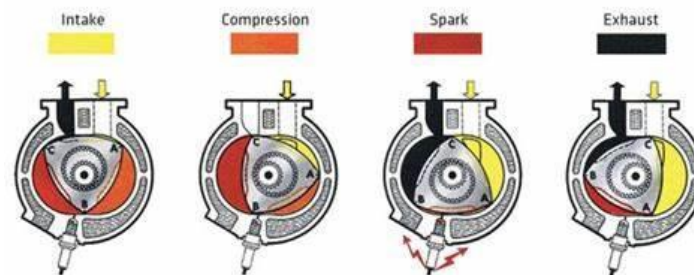


Figura 11. Motor rotativo. Fuente: Lapps.es [10]

#### 6.4. Motores según su secuencia de combustión

##### **Motores de Encendido por Compresión (MEC) o Motores Diesel**

El proceso de combustión es provocado por las condiciones específicas de presión y temperatura en la cámara de combustión, donde se introduce el comburente, generalmente oxígeno, activando y ayudando a que continúe el ciclo.

##### **Motores de Encendido Provocado (MEP) o motores Otto**

El proceso de combustión es provocado por una bujía *Figura 12* que aporta el calor en la cámara de combustión, esto se provoca con una chispa, para así estar presentes los tres elementos del fuego: el combustible, comburente y calor.



Figura 12. Bujía. Fuente: Repuestospagan [11]

## 6.5. Motores según el número de etapas en el ciclo de trabajo

Se desarrolla 4 o 2 etapas por cada ciclo, las etapas son las siguientes:

### Motores de 4 tiempos

**Admisión:** se abre la válvula de admisión y el émbolo comienza un movimiento rectilíneo descendente hasta el PMI facilitando la entrada de aire y gasolina que entra por la válvula de admisión.

**Compresión:** se cierra la válvula de admisión para posteriormente el émbolo ascender comprimiendo la mezcla hasta el PMS.

**Combustión:** en el caso del motor Diesel, combustiona de forma “Natural” y en el motor Otto se activa la bujía, provocando una chispa y detonando la mezcla, descendiendo el émbolo hasta el PMI.

**Expansión:** se abre la válvula de escape y el émbolo asciende dejando salir los gases por la misma, para cuando está en el PMS cerrar la válvula de escape y volver a empezar el ciclo.

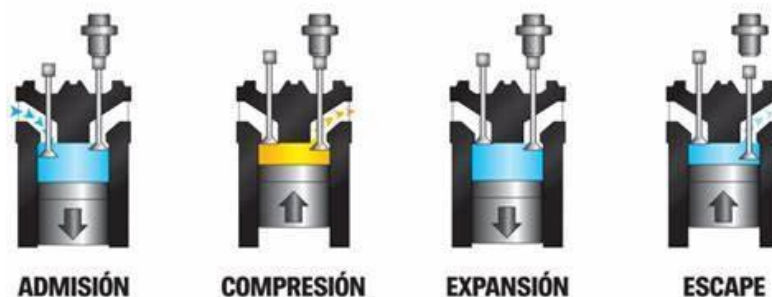


Figura 13. Etapas de la combustión en un motor de cuatro tiempos. Fuente: MOTOY CASCO [12]

### Motores de 2 tiempos

**Admisión y Compresión:** El émbolo desciende hasta el PMI permitiendo la entrada de aire, aceite y combustible, a su vez se comienza la compresión.

**Combustión y Escape:** En esta etapa, el émbolo alcanza el PMS, con esto termina el proceso de compresión. Accionando la bujía para comenzar con la combustión, se genera una cantidad de energía que hace descender el émbolo hasta PMI y a su vez se permite la liberación de gases para volver a iniciar los dos tiempos.

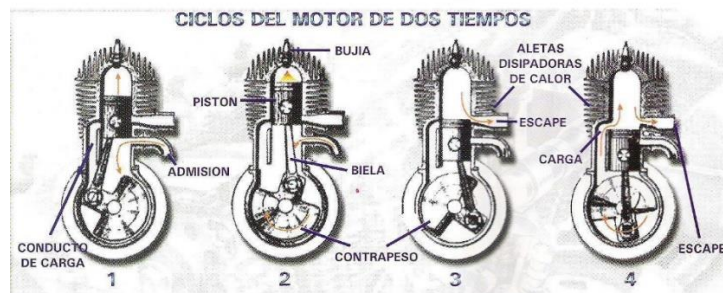


Figura 14. Etapas de la combustión en un motor de cuatro tiempos. Fuente: REVISTA MOTO [13]

## 6.6. Motores según la disposición de cilindros

Cuando en un motor se dispone más de un cilindro, se pueden clasificar según su disposición, distinguiendo en línea, en V, en V estrecha (VR), Bóxer, W, H o estrella.

## 6.7. Según tipo de refrigeración

Los motores trabajan a elevadas temperaturas para conseguir que los elementos mecánicos no se vean afectados en cuanto a dilataciones, resistencia de materiales, así como el engrase de las mismas, es necesario disipar el calor generado debido a la combustión y fricción de los elementos móviles. Dentro de ello, se puede distinguir varios métodos de refrigeración como los mencionados a continuación:

### Refrigeración por líquido

El líquido es llevado a un intercambiador de calor a través de conductos, donde el exceso de calor es expulsado por este fluido a una zona donde no afecte al funcionamiento del mecanismo, como se puede observar en la *Figura 14*.

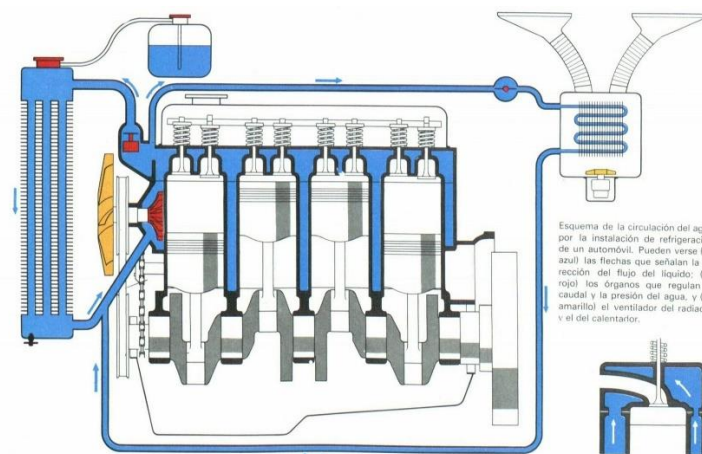


Figura 16. Refrigeración por líquido. Fuente: Motorgiga.com [14]

## Refrigeración por aire forzado

En este caso se usa uno de los principios de transmisión de calor, llamado: “convección forzada”; el aire proveniente del exterior entra y pasa hacia las zonas interesadas, en el caso del motor: cilindro y cabeza. Tanto en la zona de los émbolos como en el radiador, está capacitada con unas aletas para aumentar la zona de contacto para así, por conducción, ayudar a la evacuación de la zona, como se puede observar en la *Figura 17*.



SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AIRE

Figura 17. Refrigeración por aire. Fuente: Pasionbiker.com [15]

Se puede ver en los motores de vehículos de cuatro ruedas, que suelen disponer de los dos métodos de refrigeración.

### 6.8. Motores según la presión del aire de admisión

Los motores se pueden diferenciar según la presión del aire en el proceso de la admisión tales como:

#### **Atmosféricos o de aspiración natural**

En estos motores, la admisión del aire se realiza de forma natural, sin la asistencia de ningún elemento mecánico que aumente la presión, por lo que es igual o menor que la presión atmosférica.

#### **Sobrealimentados o motores turboalimentados:**

Como su nombre bien indica, estos motores disponen de un turbo que sobrealimentan el motor, debido que provoca que la presión en los colectores es superior a la atmosférica para así conseguir mayor cantidad de comburente en la mezcla proveniente de los gases de escape y así inyectar más combustible, obteniendo un mayor rendimiento, en la *Figura 18* se puede observar un ejemplo.

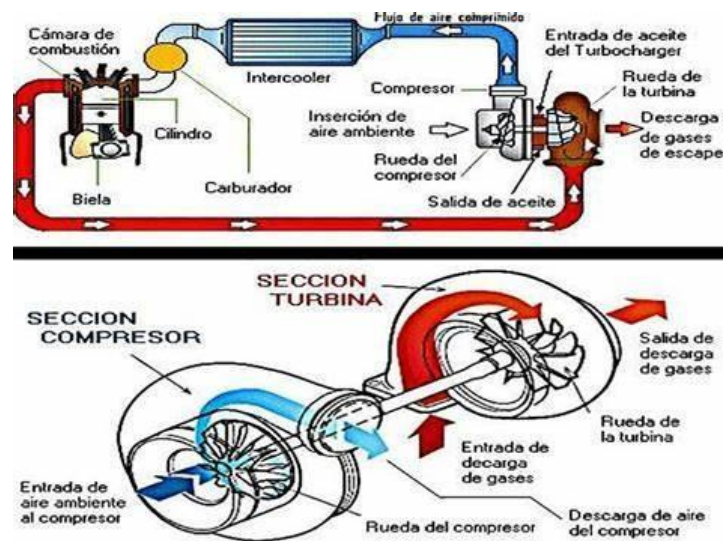


Figura 18. Esquema de motor sobrealimentado. Fuente: MonkeyMOTOR [16]

## 7. Ventajas y desventajas de los motores de combustión

Ventajas de los motores de combustión:

- Alta eficiencia térmica: Los motores de combustión interna pueden lograr altas eficiencias en comparación con otros tipos de motores. Esto se debe a su capacidad para extraer una mayor cantidad de energía útil del combustible durante el ciclo de combustión.
- Amplia disponibilidad de combustibles: Los motores de combustión interna son compatibles con una amplia variedad de combustibles, como la gasolina, diésel, gas natural, biocombustibles, entre otros. Esto permite una mayor flexibilidad en la elección del combustible en función de la disponibilidad y las preferencias ambientales.
- Diseño y fabricación bien establecidos: Los motores de combustión interna han sido objeto de investigación y desarrollo durante décadas, lo que ha llevado a un diseño y fabricación bien establecidos. Esto facilita la ingeniería, fabricación, mantenimiento y reparación de estos motores.
- Desarrollo de grandes cantidades de potencia: Los motores de combustión interna tienen una alta densidad de potencia, lo que significa que pueden proporcionar una potencia significativa en relación con su tamaño y peso. Esto los hace adecuados para aplicaciones donde se requiere una alta potencia en un espacio limitado.

Desventajas de los motores de combustión:

- **Emisiones contaminantes:** Los motores de combustión interna emiten gases contaminantes, incluidos el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y las partículas. Estas emisiones contribuyen al cambio climático y la contaminación del aire, lo que plantea desafíos ambientales y regulatorios.
- **Rendimiento limitado a cargas parciales:** Los motores de combustión interna pueden tener un rendimiento subóptimo en condiciones de carga parcial o baja demanda de potencia. Esto se debe a que los motores están diseñados para funcionar eficientemente en su punto de operación óptimo, lo que puede resultar en un consumo de combustible y emisiones más altos a cargas más bajas.
- **Vibraciones y ruido:** Los motores de combustión interna generan vibraciones y ruido debido al proceso de combustión y las fuerzas mecánicas involucradas. Esto puede afectar el confort del operador y requerir medidas de aislamiento y control de vibraciones para cumplir con los estándares de ruido y vibración.
- **Mantenimiento y costos operativos:** Los motores de combustión interna requieren un mantenimiento regular, que incluye cambios de aceite, filtros y ajustes periódicos. Además, los costos operativos pueden ser significativos debido al consumo de combustible y los requisitos de mantenimiento.

## 8. Elementos constructivos de los MCIA

A continuación, se describirán los diferentes elementos principales que componen un MCIA a efectos de rigidez, elementos mecánicos y funcionalidad:

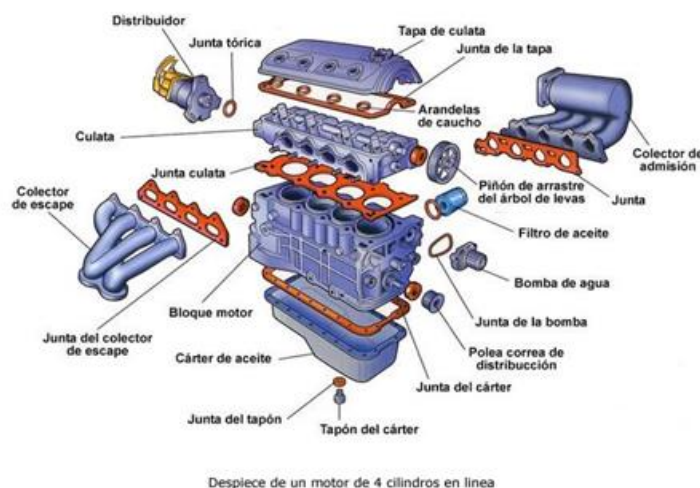


Figura 19. Explosionado de un MCIA. Fuente: MECANICA AUTOMOTRIZ [17]

## **Bloque motor**

Consiste en un elemento fundamental en los motores de combustión interna. Es una estructura sólida y resistente, los materiales usados para su fabricación son hierro fundido o aleaciones de aluminio, que contiene y alberga varios componentes clave del motor; entre ellos se encuentran válvulas, levas, émbolos, cámara de combustión y otros elementos.

Su función principal es aportar una base sólida para montar y alinear los elementos internos del motor, para así garantizar su correcto funcionamiento y estanqueidad. Para asegurar la estanqueidad, se dispone de juntas fabricadas. También dispone de cavidades y canales para proporcionar la lubricación y refrigeración del mismo.

Los materiales seleccionados para su fabricación son los mencionados anteriormente, ya que estos pueden soportar altas temperaturas y presiones originadas por la combustión. Su geometría y diseño pueden variar según el tipo de motor y la necesidad de proporcionar ciertas prestaciones, se puede ver los siguientes tipos de bloque motor:

### **- Bloque Integral**

La zona de la cámara de combustión, es decir, los cilindros, son mecanizados en el propio bloque, con la sobremedida para el mandrinado.

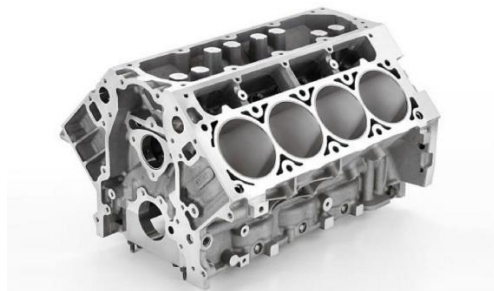


Figura 20. Bloque motor integral. Fuente: ActualidadMotor [18]

### **- Bloque con camisas**

Las camisas son elementos desmontables cilíndricos, van montados en la zona exterior del émbolo, en dicha camisa es donde se genera la combustión de motor. Se fabrica con materiales distintos al del bloque motor, el material de debe evacuar el calor y ser resistente al desgaste. A continuación, se nombrarán las diferentes ventajas de las camisas:

- Las camisas pueden cambiarse sin necesidad de sustituir el bloque entero.

- Gran precisión en el mecanizado, rectificado y pulido.
- Gran resistencia al desgaste.
- Grandes prestaciones gracias a que se puede realizar con materiales diferentes al bloque motor, lo que también lo hace más económico, ya que no hay que producir el bloque motor del mismo material que causaría un mayor coste en material.

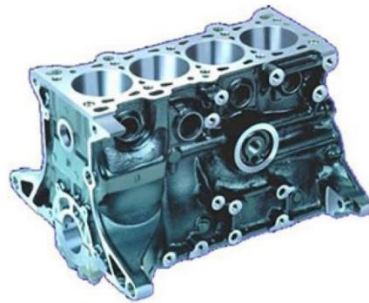


Figura 21. Bloque motor con camisas. Fuente: futurosmaquinistas [19]

El bloque motor estaría constituido por: culata, junta culata, bloque motor, junta cárter, cárter de aceite, junta de tapón, tapón del cárter, como se puede ver en la *Figura 19*.

## Cilindros o camisas

Las camisas pueden ser de dos tipos:

### - Camisas secas

Las camisas secas, también conocidas como camisas de cilindro seco, son cilindros metálicos que no están en contacto directo con el líquido refrigerante del motor. En cambio, están rodeados de aire o aceite, pero no hay intercambio directo de calor con el refrigerante. Estas camisas se utilizan comúnmente en motores de alto rendimiento, como motores de competición o motores marinos, donde se requiere un enfriamiento más eficiente y un mayor control de la temperatura en condiciones extremas.

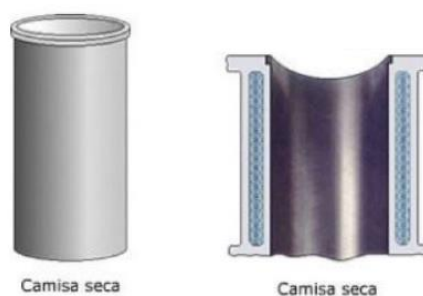


Figura 22. Camisa seca. Fuente: Ingenieromarino [20]

## - Camisas humedad

Las camisas húmedas son cilindros metálicos insertados en el bloque motor que están en contacto directo con el líquido refrigerante del motor. Estas camisas permiten que el refrigerante circule a su alrededor para absorber el calor generado durante el proceso de combustión. Este tipo de camisas se utilizan principalmente en motores de automóviles y otros motores de uso general, ya que ofrecen una mejor disipación del calor y ayudan a mantener una temperatura de funcionamiento óptima.

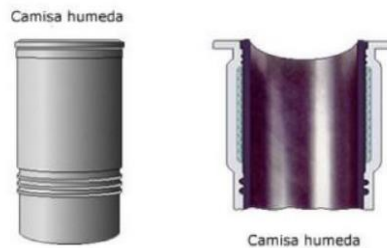


Figura 23. Camisa seca. Fuente: Ingenieromarino [20]

## Pistón

El presente elemento es el encargado de transformar la energía generada en la cámara de combustión, en energía mecánica. Durante este proceso, transmite un impulso rectilíneo a la biela y de esta al cigüeñal, donde el pistón está unido a la biela mediante un perno o bulón; gracias a esto, se la transmite al cigüeñal donde el movimiento se transforma de lineal a rotativo.

En la fabricación del pistón se deberán de tener en cuenta los siguientes puntos:

- Eficiencia térmica: se necesita evacuar gran cantidad de calor generadas por la combustión y fricción del pistón con los cilindros.
- Diseño simple: así se reducen costes de producción.
- Capacidad de potencia: Se necesita soportar altas presiones y temperaturas debido a la potencia generada.
- Normalización para poder adaptar a diferentes motores.
- Evitar el máximo de ruido y vibraciones generadas por el movimiento del mismo.
- Buena lubricación para evitar desgaste tanto en las paredes del cilindro como en el pisto.
- Material ligero y tamaño reducido ya que el pistón limita la velocidad y eficiencia del motor, debido a su movimientos cíclicos, precisos y rápidos.

Por último, hay que distinguir las diferentes partes que lo componen, son las siguientes:

- **Cabeza:** este elemento está expuesto a altas temperaturas y presiones, ya que está en contacto con el proceso de combustión y debe transmitir el movimiento a la biela.
- **Zona de segmentos:** esta parte la conforman tres anillos, sin embargo, los motores de dos tiempos constan de dos anillos ya que uno cumple la función de dos de ellos.
- **Falda del pistón:** esta parte es la encargada de guiar el pistón, reducir la fricción, disipar el calor y soportar las cargas generadas durante el ciclo.
- **Barreno para el perno:** zona donde es colocado el bulón.



Figura 24. Partes de un pistón. Fuente: Como Funciona [21]

## Segmentos

Los segmentos se encuentran en la parte del pistón y su objetivo es asegurar la estanqueidad y lubricación en las cámaras de combustión. Generalmente, está formado por tres anillos fabricados en acero, los cuales son insertados en las diferentes ranuras del pistón. Los diferentes tipos de anillos:

1. Anillo de compresión superior: su función consiste en sellar la cámara de combustión.
2. Anillos de aceite de control: su función consiste en asegurar que las paredes del cilindro estén bien lubricadas.
3. Anillos rascadores de aceite: su función consiste en raspar el aceite lubricante sobrante que queda en las paredes del cilindro.

## Bulón

El bulón es el elemento encargado de garantizar la unión entre pistón y biela para poder transmitir correctamente el movimiento, este es asegurado mediante pernos o clips de retención en ambos extremos.

Las características y funciones principales que este debe cumplir son:

1. Conexión entre el pistón y la biela
2. Trasmisión de fuerzas y cargas
3. Resistencia a la fatiga
4. Alineación precisa
5. Ligereza



Figura 25. Bulón y ubicación del Bulón. Fuente: pruebaderuta.com [22]

A continuación, se mencionan los dos tipos más comunes:

### - Bulón flotante

Este bulón está alojado dentro del pistón de manera que puede moverse libremente de él. Esto le permite una gran libertad de movimiento entre el pistón y la biela, lo que reduce las cargas laterales y la fricción entre ambos componentes. En la gran mayoría de casos, el bulón está asegurado con pasadores o clips de retención en los extremos del bulón.

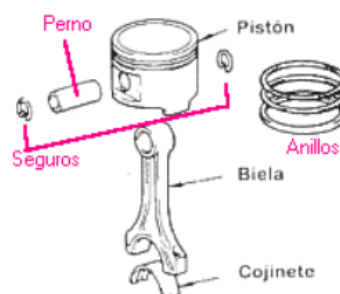


Figura 26. Bulón flotante. Fuente: ieselcano.es [23]

## - Bulón Semi-flotante

Este bulón está alojado dentro del pistón. Sin embargo, en este caso, la unión consta de un pasador o retén que hace que este guíe el bulón, mientras que el otro extremo es el que se conecta a la biela. Con esto se consigue evitar los movimientos laterales y asegurar la alineación.

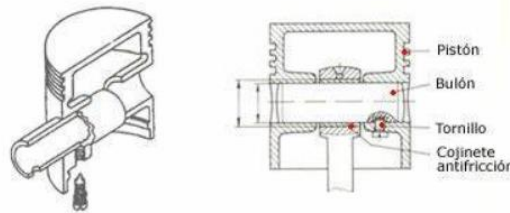


Figura 27. Bulón semi-flotante. Fuente: EcuRed [24]

## Biela

La biela es un elemento fundamental para transformar el movimiento de los motores de combustión interna de alternativo a rotativo, también es la que soporta la presión de los gases que actúan sobre el pistón en el ciclo de expansión y compresión; en estos dos tiempos, es donde es más crítico el proceso de transmisión. La cabeza de biela es la zona donde se produce el cambio de movimiento rotativo. Se debe tener en cuenta el proceso de fabricación y diseño de este elemento ya que estará sometido a grandes esfuerzos.

A continuación, se puede observar las diferentes partes que componen una biela:

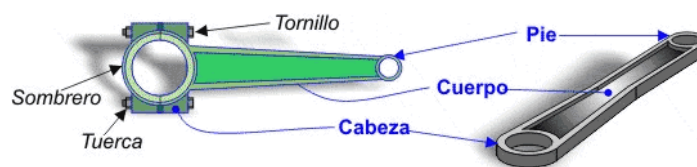


Figura 28. Partes de una Biela. Fuente: cnice [25]

Gracias a su gran utilidad, existe una gran variedad de bielas cada una de ellas especializada para cumplir diferentes objetivos, dentro de este elemento se puede diferenciar:



### - **Biela enteriza**

Son las que tienen la cabeza hecha de una sola pieza.



Figura 29. Biela enteriza. Fuente: ActualidadMotor [26]

### - **Biela de goteo de aceite**

En la cabeza de la biela se encuentra un orificio por el que puede pasar el aceite, una vez lubricado los componentes que requerían de ello.

### - **Biela aligerada**

Se dice que es aligerada cuando se hace el plano medio de la pieza y esta se divide en dos mitades y no forma un ángulo recto, como se puede apreciar mejor en la [Figura 30](#).



Figura 30. Biela aligerada. Fuente: ActualidadMotor [26]

### - **Bielas 'Fork-and-blade'**

La biela está formada por dos cabezas unidas en la misma muñequilla del cigüeñal, van en parejas insertadas entre ellas; formando las cabezas, dos puntas juntas y otra punta como si fuera un tenedor y un cuchillo, de ahí su nombre, como se puede apreciar en la *Figura 31*. Este sistema es útil cuando se quiere montar dos bielas contenidas en el mismo plano. Por ejemplo: motor V8 Y V12.

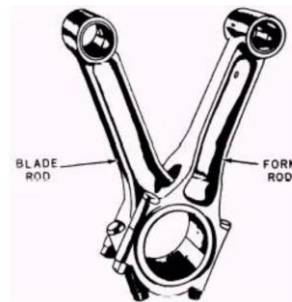


Figura 31. Biela Fork-and-blade. Fuente: [aviamech.blogspot.com](http://aviamech.blogspot.com) [27]

### - **Biela articulada**

Consiste en una biela principal y otra acoplada a esta, las bielas esclavas pueden ser varias y están unidas a la maestra mediante orificios secundarios. En la *Figura 32* se puede observar. Este sistema de bielas suele ser utilizado en motores de aviones o también se puede usar en motores en los cuales se necesite variar la relación de compresión en cualquier momento.

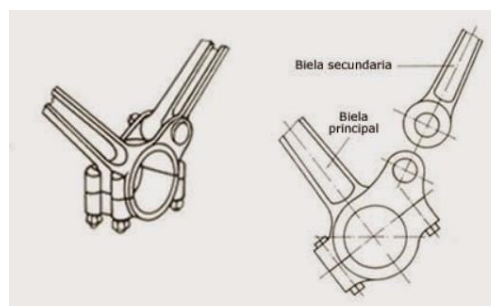


Figura 32. Biela articulada. Fuente: [pruebaderuta](http://pruebaderuta.com) [22]

Las bielas también pueden estudiarse en base al material de fabricación y sus usos:

- Biela de acero forjado: motores de alto rendimiento.
- Biela de acero fundido: motores de uso general.
- Biela de aluminio: motores donde se requiere reducir el peso total del motor.
- Biela de titanio: motores ligeros y de alto rendimiento.
- Biela de fractura: motores de elevada potencia y rendimiento, donde se requiere una gran resistencia y durabilidad.

## Cojinetes

Elemento mecánico utilizado para soportar y permitir el movimiento suave de un eje. Su función es disminuir la fricción entre las piezas y, para ello, cuenta con un canal de engrase, una base de acero, una pestaña de posicionamiento y capas de recubrimiento que mejoran su rendimiento.



Figura 33. Cojinete. Fuente: pruebaderuta [22]

## Cigüeñal

El cigüeñal es uno de los elementos más importantes de los motores de combustión interna, ya que es el responsable de transformar el movimiento alternativo a movimiento rotativo o a la inversa, también es conocido como eje motor o Eje 1 de manivelas. Este componente debe estar sujeto a las bielas justo debajo de la unión con los pistones.

Para diseñar y fabricar un cigüeñal hay que tener en cuenta diversos factores como tamaño, velocidad y potencia del motor. Primero, hay que elegir un material que reúna las siguientes condiciones:

1. Resistente a los golpes y vibraciones generadas en la combustión.
2. Límite elástico adecuado para poder transmitir el par motor y tolerar los esfuerzos de este.
3. Un elevado coeficiente de amortiguación y límite de fatiga.
4. Bajo coeficiente de fricción para reducir la fricción.
5. Unas buenas condiciones de forja y maquinado.

Aunque el material reúna dichas propiedades mencionadas, también es necesario hacerle una serie de tratamientos como: Temple, Rectificado, Balanceo, Tratamientos superficiales, inspección y ensayos no destructivos.

Este elemento está formado por diferentes partes como:

- Plato o plato de amarre, en este elemento va fijado el volante de inercia.
- Muñequillas de biela, suele ir desalineada entre sí.
- Muñequillas de bancada, estas no están en la *Figura 34* pero son las que están alineadas con el eje que gira sobre el cigüeñal.
- Brazo transmite la fuerza de giro entre las muñequillas de biela y de bancada.
- Contrapesos, ayuda a equilibrar y eliminar vibraciones generadas por los desalineamientos.
- Acuerdos, zona mecanizada para reducir esfuerzos en el cigüeñal.
- Espigo, punto donde se fija el piñón de distribución que transmite el movimiento a los elementos de distribución.



Figura 34. Partes del Cigüeñal. Fuente: ResearchGate [28]

## Volante de inercia

Es un elemento pasivo, un sistema de almacenamiento de energía cinética que ayuda a reducir las vibraciones y transmitir la potencia del motor a la caja de cambios de forma suave y sin resistencia. Está formado por las siguientes partes:

- **Corona:** los dientes están conectados con el motor de arranque, esto permite que al activar el motor de arranque este haga girar la corona y, por ende, el volante y el cigüeñal, lo que provoca que se produzca el encendido del motor.
- **Cojinete de centrado del embrague:** su función es suavizar el impacto de fuerza desde el cigüeñal hasta el embrague.
- **Superficie de presión del embrague:** es la superficie que entra en contacto con el embrague, cuando se produce dicho contacto la superficie amortigua el volante sobre el embrague.

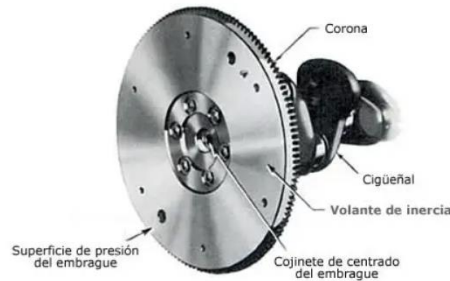


Figura 35. Partes de un Volante de Inercia. Fuente: Como Funciona [29]

## **Cárter superior o bancada**

El cárter superior se refiere a la parte que cubre y sella la parte superior del bloque motor, este elemento debe garantizar el sellado para así evitar fugas y contaminantes no deseados en el motor; para ello, cuenta con tornillos y juntas de sellado, también tiene carácter estructural donde se sustentan en su interior varios componentes importantes del motor, este también cuenta con conductos para la correcta lubricación y refrigeración de los componentes móviles.

Es fabricado por estampación en chapa de acero o aleaciones ligeras de aluminio, debe tener una gran rigidez, pues este elemento es el encargado de soportar la fuerzas y vibraciones generadas en el motor.

## **Cárter inferior o de aceite**

El cárter inferior está unido al cárter superior mediante tornillos y juntas para asegurar la estanqueidad del bloque, este no tiene carácter estructural como el cárter superior, pero sí está fabricado en las mismas condiciones y con el mismo material, su función es contener el aceite y lubricar, dentro de ello existe los siguientes tipos de cárter:

### **- Cárter húmedo**

Cae el aceite al fondo del cárter donde es acumulado para poder ser almacenado.



Figura 36. Cárter húmedo. Fuente: Ingeniería Mecafenix [30]

### - Cárter seco

El aceite cae en un depósito externo al cárter.

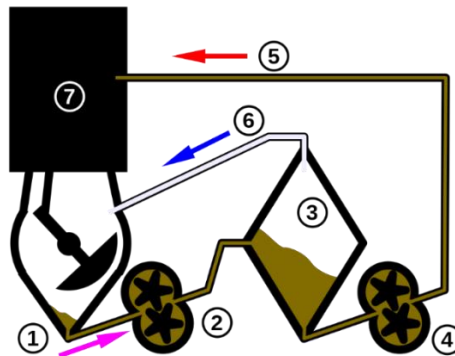


Figura 37. Esquema de Cárter seco. Fuente: Wikipedia [31]

### Culata

La culata es uno de los elementos más importantes del motor, este tiene varios aspectos que cubrir, ya que sirve como estructura donde se fijan varios elementos muy importantes que transmitirán a su vez vibraciones y esfuerzos a la misma.

Por otro lado, también tiene que asegurar la estanqueidad del motor en el cual entra en acción la junta de culata y tornillos, la culata también tiene que ser de material que permita una buena conducción térmica, ya que este evacuará el calor originado en la cámara de combustión para así conseguir un mejor rendimiento del motor, por ello existen diferencias entre:

- **Culata de aleación de aluminio:** Es muy buen conductor térmico y es muy ligera.
- **Culata de hierro fundido:** Es muy buen conductor térmico, ligera y gran capacidad de resistencia al rozamiento de los pistones.

En la *Figura 38* se puede observar las diferentes partes que conforma una culata

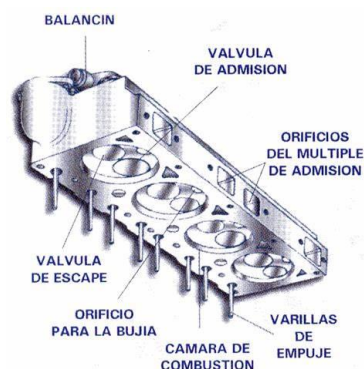


Figura 38. Partes de una Culata. Fuente: geocities.ws [32]

Dentro de la forma de la culata cabe un aspecto que resaltar, la cámara de combustión, pues esta tiene diferentes formas según las necesidades que se le exija al motor.

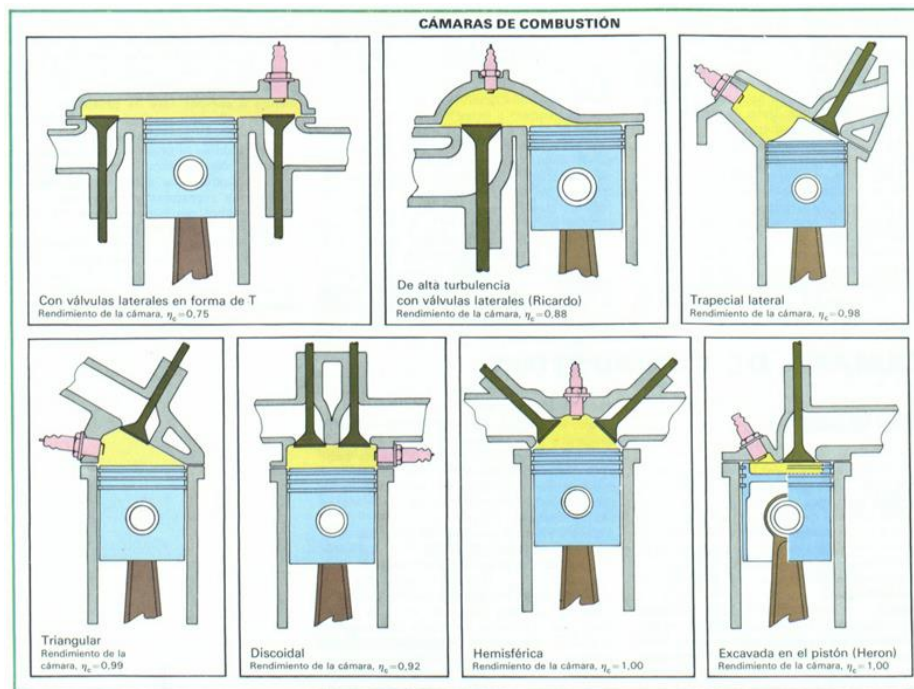


Figura 39. Tipos de Cámara de combustión. Fuente: Motorgiga.com [33]

## Junta culata

La junta culata es el elemento que se encarga de hermetizar el bloque motor superior con la culata, su función es primordial para el correcto funcionamiento del motor y para que las fugas del mismo no dañen otros componentes, el material del cual es fabricado depende del tipo de motor, las especificaciones del fabricante, condiciones de operación y los requisitos de sellado, dentro es lo mencionado se pueden ver fabricados de:

- Papel compuesto
- Caucho de nitrilo
- Caucho de silicona
- Caucho de fluoro carbono
- Acero multicapa



Figura 40. Junta culata. Fuente: cochescom/noticias [34]

### **Piñón de arrastre del eje 1 de levas y piñón del cigüeñal**

El piñón va fijado al eje de levas al cual trasmite el giro, está engranado mediante una correa dentada o cadena al piñón del cigüeñal, el cual hace de piñón de entrada.

## 9. Sistema de transmisión

El sistema de transmisión es el conjunto de piezas del motor encargadas de transmitir el movimiento del motor a las ruedas. La transmisión se puede dar de los siguientes tipos:

### **Transmisión manual**

Se llama transmisión manual ya que se activa a través del pedal de embrague y la palanca de cambios. La caja de cambios está formada por engranajes de diferentes tamaños y relación entre sí para ir transmitiendo la velocidad del motor según la demanda de velocidad y potencia en las ruedas.

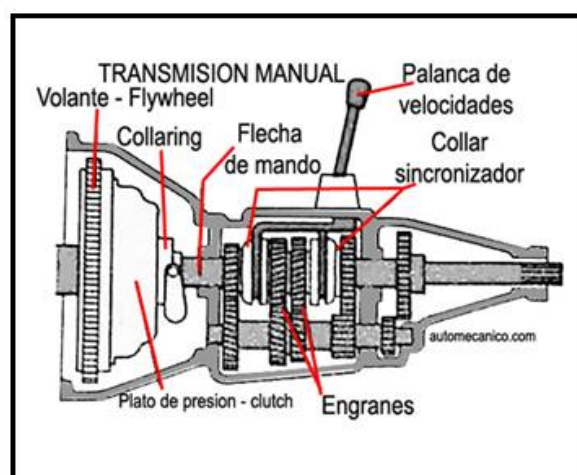


Figura 41. Partes de la transmisión manual. Fuente: automecanico.com [35]

## Transmisión automática

A diferencia de la transmisión manual, la automática prescinde del pedal del embrague. En este caso, la caja automática utiliza un líquido de transmisión con el que se genera presión necesaria para desplazar todos sus componentes, este sistema también está equipado con un convertidor de torque con el cual se hace que se acople y desacople los engranajes al motor y así provocar la relación de transmisión necesaria para cada momento.

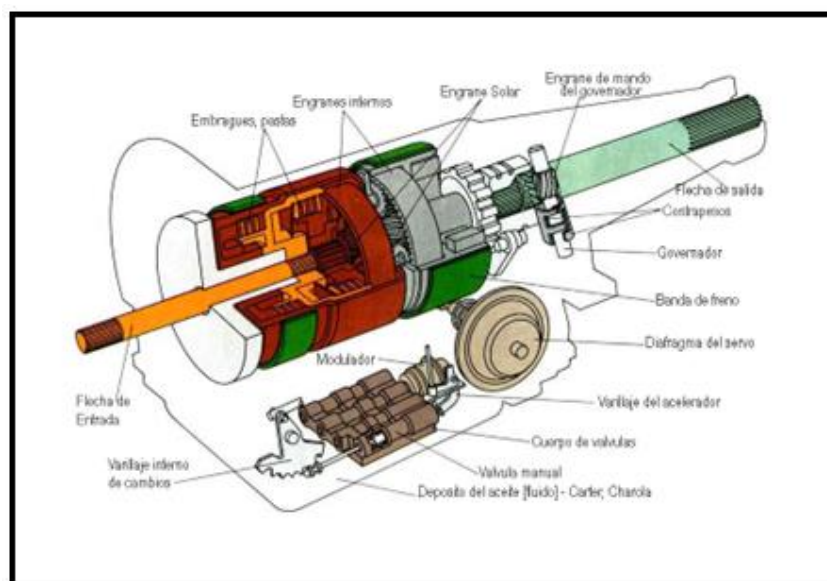


Figura 42. Partes de la transmisión automática. Fuente: ForoMecanicos.com [36]

## 10. Sistemas de lubricación

Los motores trabajan a una gran velocidad y soportan grandes esfuerzos, los elementos móviles tienen una energía cinética, parte de esta energía se disipa en calor debido a la fricción entre las piezas produciendo también residuos en la circulación del motor.

En la actualidad existen muchos tipos de lubricación en los MCI. El sistema de lubricación del motor tiene como objetivo drenar el aceite o grasa por todas las partes móviles, con esto se consigue una lubricación óptima para reducir su temperatura y recoger las impurezas y residuos que se generan debido a la fricción de las piezas. El aceite recorre el interior del motor trasladando las impurezas y residuos hasta el filtro donde pasa el aceite filtrado, para así no causar problemas y daños en el motor.

A la hora de suministrar la cantidad suficiente de lubricante, es necesario saber las características del aceite:

1. Viscosidad
2. Índice de Viscosidad



3. Punto de inflamación y de incendio
4. Punto de fluidez
5. Número total de ACID, TAN
6. Número base total, TBN
7. Estabilidad a la oxidación

También se debe conocer la cantidad necesaria, pues una cantidad deficiente podría llevar a grandes averías como deformaciones o gripar ciertas piezas móviles del motor, una cantidad excesiva de lubricante también podría derivar en suciedad en las bujías y un exceso de humo por la quema de aceite, este humo sería de color azul.

La lubricación tiene como objetivo principal reducir la fricción entre los elementos móviles, como se ha mencionado anteriormente, pero también puede actuar como “Refrigerante”, es decir, puede servir como elemento líquido donde evacua cierta cantidad de calor generado en el motor, pero esta no debería ser su función principal.

Dentro de la lubricación existe varios sistemas de lubricación tales como:

### **Lubricación por cárter húmedo**

Es el sistema de lubricación más utilizado, el aceite es acumulado en el cárter, para luego ser bombeado a las distintas partes del motor, así como también por el filtro del sumidero y la bomba de aceite. La presión del fluido oscila entre los valores 4 a 5 kg/cm<sup>2</sup>.

Cuando el aceite recorre todo el interior del motor, regresa al cárter. Las ventajas de este sistema son su diseño sencillo sin uso de un depósito externo y utilizando una sola bomba.

### **Lubricación por cárter seco**

El sistema es usado en motores de alto rendimiento. En este caso el aceite está acumulado en un depósito, se deja caer el lubricante en una zona entre el cigüeñal y la tapa del cárter, una vez allí las bombas bombean para transferirlo al depósito mencionado anteriormente. En este depósito el lubricante se enfría y desgasifica antes de volverlo a poner en circulación por el interior del motor.

Este sistema aporta más fiabilidad que el sistema húmedo ya que el lubricante se suministra de forma constante, gracias a la bomba de presión.

### **Lubricación a gasolina**

Generalmente este sistema se usa en motores de 2T. En este caso el lubricante se suministra junto a la gasolina en una dosis específica.

Cuando la mezcla de aceite y gasolina entra en la cámara de combustión, el aceite baja lubricando dicha zona.



## **Lubricación a presión**

Este sistema es usado en motores industriales. El aceite es extraído del cárter mediante una bomba para posteriormente inyectar el lubricante a la galería central de aceite, a una presión que oscila entre los valores 2 y 4 kg/cm<sup>2</sup>.

## **Lubricación mixta**

Este sistema se utiliza ampliamente en la mayoría de los motores de combustión interna de 4T y opera mediante la combinación del sistema de lubricación por salpicadura con el sistema de cárter húmedo. La fuente principal de aceite se encuentra en la base de la cámara del cigüeñal o cárter, de donde es extraído mediante una bomba de engranajes. Antes de ingresar al circuito de lubricación, el aceite atraviesa un filtro de malla colocado en el fondo del sumidero y, posteriormente, es presurizado a 1 bar para su distribución adecuada a través de las diferentes partes móviles del motor.

## **Lubricación por salpicadura**

El presente sistema es el más simple de todos los mencionados, pero ya no es aplicado en los motores. El aceite se encuentra en el cárter del motor, la biela está equipada con una pala o cucharón que al funcionar el motor, se sumerge en el lubricante y lo proyecta hacia las paredes y piezas móviles, para volver a caer en el cárter.

## **11. Sistemas de refrigeración**

El sistema de refrigeración es esencial en los motores, ya que debe regular y controlar las altas presiones y temperaturas generadas en su interior. Esto es crucial para garantizar que la maquinaria funcione mecánicamente y pueda seguir operando sin problemas. En ausencia de un adecuado sistema de refrigeración, el motor podría sobrecalentarse y experimentar daños significativos, lo que afectaría su rendimiento y durabilidad; por lo tanto, la función del sistema de refrigeración es fundamental para mantener el motor en un rango de temperatura óptimo y asegurar su funcionamiento continuo y eficiente.

En la actualidad, se utilizan diversos métodos de refrigeración como la refrigeración por aire, los elementos a refrigerar están mayormente equipados con aletas para ayudar a la evacuación de calor o también termostato o aletas para controlar la cantidad de aire que entra en la zona que se necesita enfriar. El sistema utiliza lo que en transferencia de calor se llama, convección y existen dos tipos de convección:

## Convección natural

El flujo de aire pasa por las zonas críticas a refrigerar y al contactar este aire de forma “suave”, el medio intenta equilibrar las temperaturas, enfriándose la zona crítica y calentándose el medio, pero este sale a la atmósfera donde ya no afecta esa temperatura al motor.

## Convección Forzada

Algunos motores están equipados con un ventilador, el cual hace pasar el aire del exterior, esto es lo que se llama “convección forzada”, donde al contactar con el elemento a enfriar, el medio absorbe ese calor y es expulsado al exterior, este medio es más eficaz que por convección natural.

## Refrigeración por líquido

El bloque motor está construido con unos conductos interiores que pasan por las zonas críticas que se necesitan enfriar, el agente encargado para refrigerar es una mezcla de agua y etilenglicol. Este se hace pasar por los conductos evacuando el calor del motor.

## Refrigeración mixta

El presente sistema combina los dos sistemas de refrigeración anteriormente mencionados, refrigeración por aire y refrigeración por líquido, en automoción es el más usado ya que cuenta con todas las ventajas.

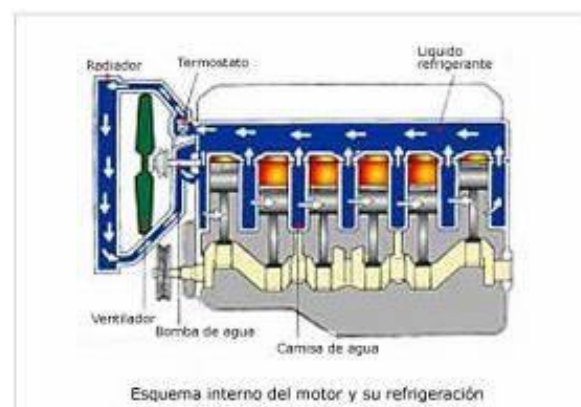


Figura 43. Partes de una Refrigeración mixta. Fuente: AUTOYTÉCNICA.COM [37]

## 12. Sistema de distribución

El sistema de distribución representa el conjunto de elementos mecánicos que se encargan de gestionar y controlar los gases tanto la admisión como la fase de escape de las fases para una correcta combustión. Todo ello es posible gracias a la sincronización generalmente de elementos como los indicados en la *Figura 44* excepto en el Desmosdrómico que prescinde del muelle que lo sustituye por una leva como se verá a continuación.

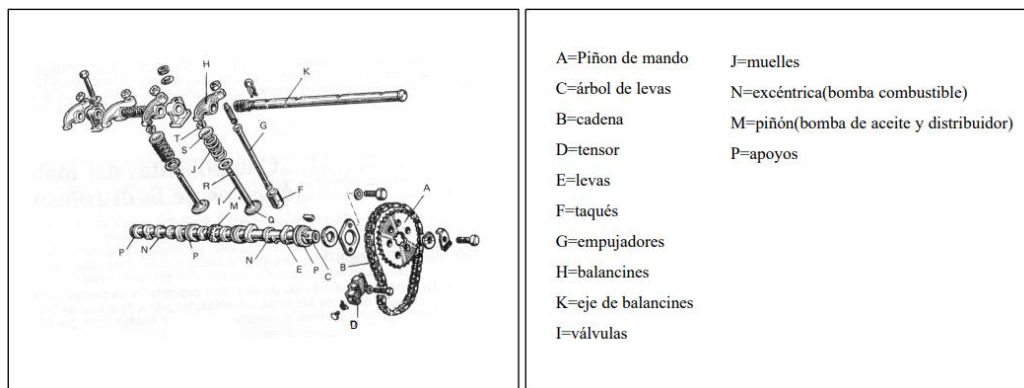


Figura 44. Explosionado y partes del Sistema de distribución (Más usado). Fuente: Ajuste de Motor [38]

Pero principalmente los sistemas de distribución están compuestos por los siguientes elementos:

### Eje de levas

El Eje de levas es un componente crucial en el motor, compuesto por un eje con levas que interactúan con los taqués. Además, posee muñones de soporte que permiten su rotación y varían en número según las demandas de transmisión de fuerza. En algunos motores antiguos, puede llevar una excéntrica para accionar la bomba de combustible y el piñón de arrastre para el mando del distribuidor de encendido en motores de gasolina, como se puede observar en la *Figura 45*. En motores diésel más modernos, pueden tener excéntricas para los inyector-bomba.

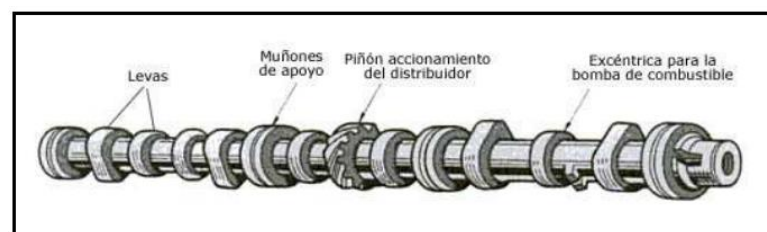


Figura 45. Partes del Eje de levas. Fuente: ELECTROMECAÁNICA [39]



El Eje de levas gira sobre cojinetes de fricción o taladros de Taqué integrados en la culata. Para su lubricación, se conecta al circuito de engrase mediante conductos que llegan a cada punto de Taqué. Estos Ejes se fabrican en una sola pieza de hierro fundido o acero forjado, asegurando resistencia a la torsión al desgaste, y se le somete a un tratamiento de templado. Un desgaste en el Eje de levas podría alterar el diagrama de distribución, lo que afectaría el rendimiento del motor de manera negativa.

Es un elemento muy importante en cuanto motores de combustión se refiere, ya que es el responsable de los tiempos de apertura y cierre en las válvulas de admisión y escape, este puede trabajar en tiempos constantes o tiempos variables gracias a diferentes configuraciones de montaje, como se verá en los siguientes apartados.

## **Leva**

La leva es de vital importancia para el funcionamiento de los MCI. Se trata de un elemento con una forma especialmente diseñada para convertir un movimiento circular en otro lineal o viceversa. Su función principal es abrir y cerrar las válvulas de admisión y escape en los motores de combustión interna, permitiendo el flujo de aire y combustible hacia los cilindros y la expulsión de los gases de escape.

La leva es una pieza sólida que generalmente tiene forma de un cilindro o un disco con una superficie curvada o escalonada. Esta superficie curva se conoce como “cresta” o “perfil de leva” y es la que interactúa con el taqué o seguidor de leva. El seguidor de leva se encuentra en contacto directo con la leva y convierte su movimiento rotatorio en un movimiento lineal para accionar las válvulas.

En el diseño de las levas, se consideran factores importantes como la duración y la forma del perfil. La duración determina cuánto tiempo están abiertas o cerradas las válvulas, lo que afecta el rendimiento del motor. La forma del perfil de la leva influye en cómo se abren y cierran las válvulas, lo que puede tener un impacto significativo en la eficiencia y rendimiento del motor en diferentes rangos de revoluciones.

La fabricación de las levas suele realizarse en materiales de alta resistencia y dureza, como acero al carbono, acero aleado o endurecido. También pueden fabricarse en otros materiales con propiedades especiales, como acero de nitruración para aumentar la resistencia al desgaste.

El funcionamiento de la leva ocurre en sincronización con el Eje de levas, que es el eje donde se montan todas las levas del motor. El Eje de levas gira a la mitad de la velocidad del cigüeñal, lo que asegura el tiempo adecuado para abrir y cerrar las válvulas en los tiempos correctos del ciclo de combustión.

Cuando el motor está en funcionamiento, el Eje de levas gira y las levas empujan los taqués hacia arriba y hacia abajo, lo que a su vez acciona las válvulas. Este movimiento preciso de las válvulas permite el flujo adecuado de aire y combustible al cilindro, así como la expulsión de los gases de escape, optimizando así el rendimiento, la eficiencia y potencia del motor.

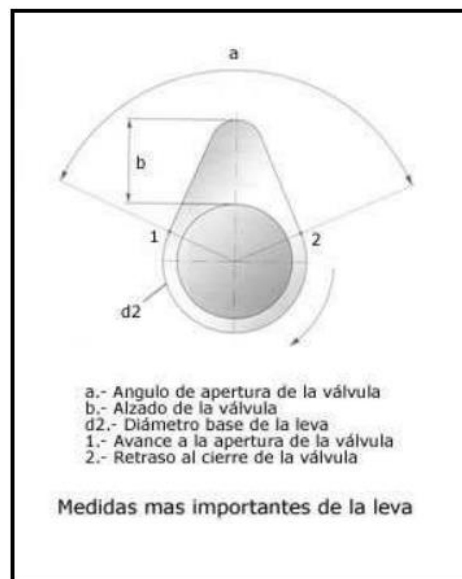


Figura 46. Parámetros geométricos de una leva. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [39]

Como se ha podido observar, la leva ejerce un papel fundamental en el mecanismo de apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape. Las exigencias de ello han llevado a una variedad de necesidades de dicho movimiento del elemento citado, lo cual ha sido cubierto con dos tipos de perfiles de levas que determinan la apertura y cierre de válvulas, los cuales se pueden apreciar en la [Figura 46](#).

#### - Perfil de flancos convexos

Este perfil consiste en un círculo base que se conecta con la curva de cresta mediante dos circuitos tangentes. El radio de curvatura de esta curva está determinado por la altura (b) y el ángulo total de apertura de la válvula, como se indica en el diagrama de distribución. Este tipo de perfil de leva es comúnmente utilizado en motores donde se requiere un flujo de aire y combustible más agresivo, lo que resulta en una mayor potencia y rendimiento.

#### - Perfil de flancos tangenciales

En este caso, los flancos o rampas de ataque al vástago de la válvula están formados por dos rectas tangentes al círculo base y a la curva de la cresta. Este diseño permite que la válvula permanezca abierta por un período de tiempo más prolongado, mejorando el intercambio de gases y optimizando la eficiencia del motor. Este tipo de perfil de leva es utilizado en motores donde se busca una mayor eficiencia de combustión y una respuesta más suave en bajas revoluciones.

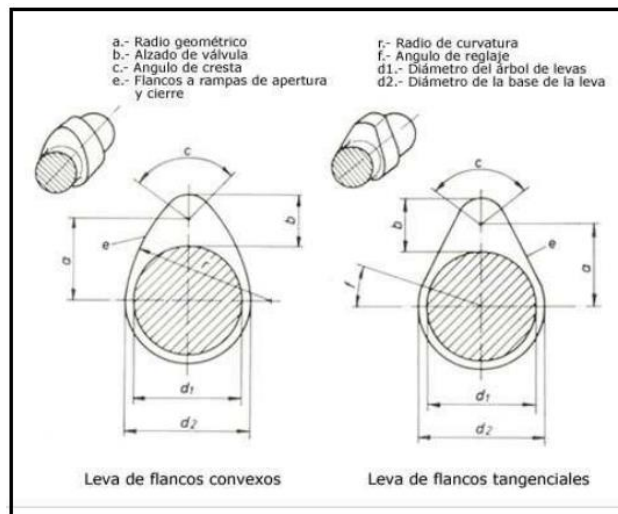


Figura 47. Parámetros geométricos de una leva. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [39]

## Balancines

El balancín es un elemento mecánico del sistema de distribución, su función es transmitir el movimiento lineal general, por el Eje de levas, a las válvulas del motor, permitiendo que estas se abran y cierren en sincronización adecuada con el ciclo de admisión y escape de los gases. El balancín es solidario a un eje; mientras que, en sus dos extremos, en uno es impulsado por la leva en la zona del patín o también varilla empujadora y en el otro extremo impulsa el vástago de la válvula.

Un aspecto importante que no se debe descuidar es la selección de un material lo más adecuado que garantice un funcionamiento eficiente y confiable del motor. El material utilizado para el balancín debe ser lo suficientemente resistente para soportar las cargas y las altas temperaturas generadas por el funcionamiento del motor, al tiempo que se debe mantener un peso y una geometría adecuados para garantizar una operación suave y precisa.

También cabe destacar que dentro de los balancines existen dos tipos según la disposición:

### - **Balancines basculantes**

El balancín basculante es un tipo de balancín que le permite oscilar o bascular en su eje central. El objetivo principal es reducir las fuerzas y fricciones que se genera en el tren de válvulas del motor. Esto puede mejorar la eficiencia del sistema y reducir el desgaste de las piezas, lo que puede resultar en una mayor vida útil del motor y un rendimiento más suave.

Este elemento es situado entre el Eje de levas y las válvulas. En cuanto a su movimiento, puede moverse o bascular en su eje central mientras sigue transmitiendo el movimiento de forma lineal desde el Eje de levas a las válvulas.

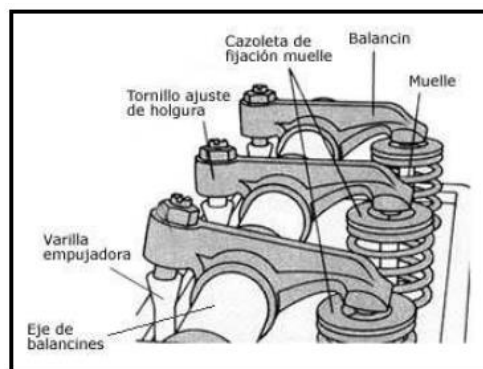


Figura 48. Balancín basculante. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [39]

### - **Balancines oscilantes**

A diferencia de las versiones anteriores, estos balancines oscilan alrededor de un eje en uno de sus extremos. Estas palancas reciben un impulso directo de la leva y transfieren este movimiento a la válvula. Están instaladas en el eje de los balancines, conectadas mediante un cojinete de agujas para facilitar su movimiento, como se puede observar en la [Figura 49](#).

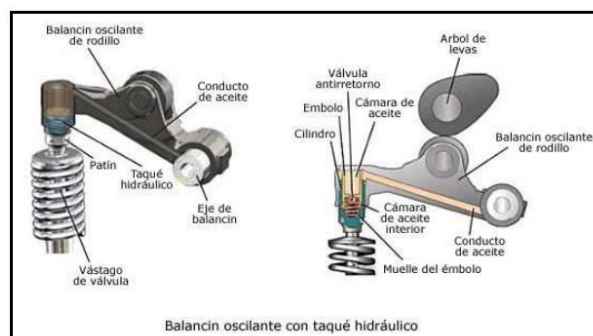


Figura 49. Balancín oscilante. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [39]



## **Taqués**

El taqué, también conocido como seguidor de leva, es el elemento encargado de transmitir movimiento lineal de las levas hasta las válvulas, eliminando el rozamiento horizontal de las cabezas de las válvulas.

## **Muelle de válvula**

Los muelles, como elemento de sistema de distribución, son tan importantes como las levas en cuanto a función se refiere, pues estos tienen una función similar. Los resortes tienen la función principal de cerrar la válvula en el momento y tiempo necesario, como también mantener las válvulas cerradas cuando no actúa la leva sobre la misma.

La elasticidad intrínseca de los resortes provoca la generación de un conjunto de oscilaciones vibratorias, las cuales se propagan a través de las válvulas y otros componentes de control. Estas oscilaciones inducen efectos indeseados de rebote que comprometen el desempeño óptimo del sistema en cuestión. Por lo tanto, se requiere que los resortes implementados exhiban una elasticidad adecuada, y su disposición estructural debe ser concebida de manera tal que, en el transcurso de su operación, se compense las oscilaciones citadas.

El método adoptado para contrarrestar estas oscilaciones consiste en diseñar los resortes con una progresión gradual en la tensión elástica, logrando una disminución de la separación entre espiras cercanas al punto de asiento en la culata y un aumento progresivo desde la base hasta el extremo del resorte. El cálculo de esta tensión elástica es realizado de manera precisa para asegurar que los esfuerzos transmitidos por los dispositivos de control sean mínimos.

Otra estrategia para evitar las vibraciones involucra la utilización de un sistema de doble muelle concéntrico, en el cual las vueltas de las espiras son invertidas. La tensión elástica de estos resortes dobles se calibra de modo que coincida con el esfuerzo a transferir a las válvulas por los mecanismos de control, resultando en una sección transversal del alambre de menor dimensión.

La elección del sistema de doble muelle conlleva la ventaja adicional de prevenir las vibraciones y, en caso de que uno de los muelles falle, el otro permanece operativo, lo que garantiza la continuidad del funcionamiento del motor hasta que se puede efectuar la reparación necesaria.

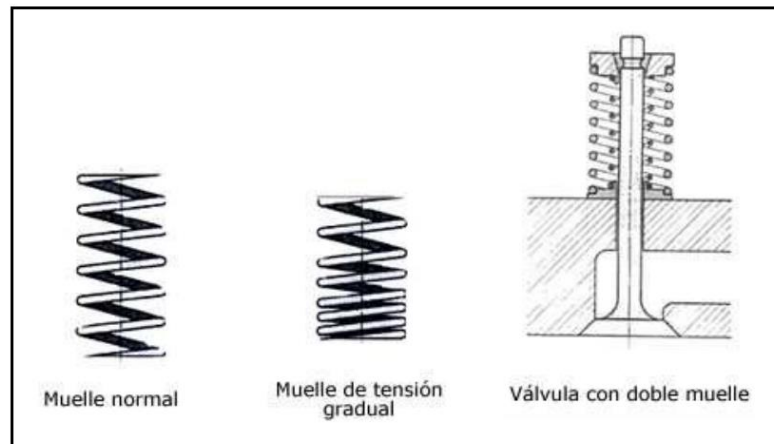


Figura 51. Muelles de Válvulas. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [39]

El material empleado en la fabricación de muelles es acero de alta calidad que exhibe una notable resistencia a la torsión y un elevado módulo de elasticidad. Los valores de carga máxima y mínima para un resorte son determinados a partir de la cilindrada específica del motor y su rango operativo máximo.

## Válvula

Las válvulas son el último eslabón de la cadena de distribución que con su movimiento permite el flujo tanto de la mezcla aire-combustible como los gases después de la combustión. Están ubicadas en la cubierta de los cilindros y cumplen su función gracias a la combinación de resortes y levas, o solo por levas tanto para la apertura como cierre de la válvula.

El plato o cabeza de válvula va apoyada en los asientos para válvulas, los cuales se adaptan de forma muy precisa a la geometría que tiene la cabeza de válvula, para evitar filtraciones de gases o mezcla.

Por otro lado, el vástago se sitúa en el interior de una guía que está fabricada con una aleación de acero especialmente formulada para soportar temperaturas extremadamente elevadas. Dada su función, estas guías se enfrentan a niveles significativos de calor, generado por los gases y la fricción en el sistema. Se pueden diferenciar por la geometría *Figura 52*, como por la composición del material del cual están fabricadas.

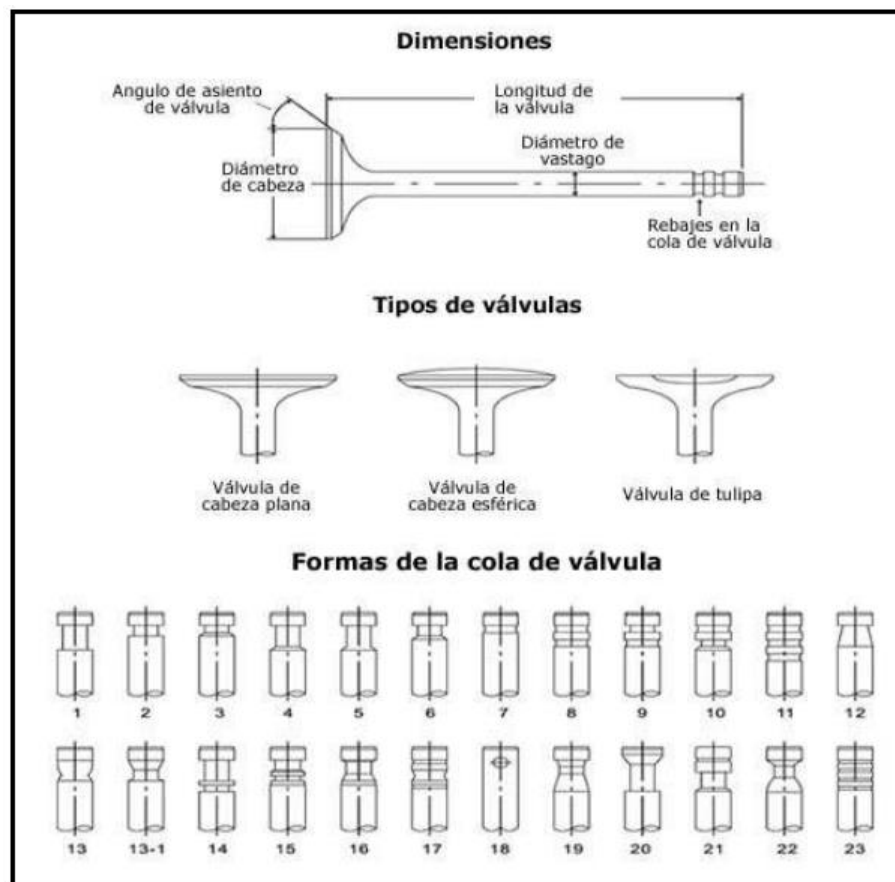


Figura 52. Geometrías de Válvulas. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [39]

### - Válvulas Monometálicas

Estas válvulas están diseñadas con un único material con el fin de poseer deslizamiento y resistencia a temperaturas elevadas.

### - Válvulas Bimetálicas

Están compuestas por dos zonas de diferente material unidas por soldadura en frío. Poseen resistencia a temperaturas altas en la zona de la cabeza y por la zona del vástago tienen capacidad deslizante.

### - Válvula Hueca

Con este diseño se consigue disipar fácilmente el calor de la cabeza hacia el vástago, esto es posible ya que el interior del vástago está relleno con sodio, el cual a 97,5°C pasa a estado líquido, consiguiendo mejores propiedades térmicas para el elemento.



En el sistema de distribución convencional las válvulas trabajan de la siguiente forma *Figura 53*.

Cuando se acciona el motor, el cigüeñal se pone a funcionar, haciendo que el Eje 1 de levas comience a girar. Cada revolución pone a funcionar las válvulas del motor. En un motor de 4T se repiten cíclicamente.

- **Fase de Admisión (1T):** Cuando las válvulas de admisión están abiertas y las de escape están cerradas, el pistón se desplaza desde la posición más alta (PMS), hasta la más baja dentro del cilindro (PMI). Este movimiento provoca la creación de una pequeña área de presión reducida en el interior del cilindro, lo suficientemente notable para provocar la entrada de gases a través del conducto de admisión.

Estos gases pueden consistir en aire solamente o una combinación de aire y combustible, dependiendo del tipo de motor en uso. A medida que el pistón continúa su descenso hasta su posición más baja, las válvulas de admisión se cierran, iniciando la siguiente etapa del ciclo.

- **Fase de Compresión (2T):** En la fase de compresión se encuentra tanto las válvulas de admisión como las de escape cerradas, el pistón se mueve desde el punto muerto inferior (PMI) hacia el punto muerto superior (PMS), comprimiendo el fluido contenido en el cilindro. Cerca del PMS, ocurre el encendido de la chispa en el caso de un motor de encendido por chispa, o se inyecta el combustible en el caso de un motor de encendido por compresión. Esto da lugar a la combustión del combustible en la cámara del cilindro.
- **Fase de Expansión (3T):** La combustión, entre otros efectos, produce un aumento de presión de los gases contenidos en el cilindro. Esta presión empuja el pistón, provocando su movimiento desde el PMS hacia el PMI. Este desplazamiento es el único que genera trabajo aprovechable en el ciclo de funcionamiento.
- **Fase de Escape (4T):** Cuando el pistón alcanza el PMI, se abre la válvula de escape, permitiendo que los gases quemados sean expulsados del cilindro mientras el pistón comienza a moverse hacia el PMS. A medida que el pistón se acerca al PMS, la válvula de escape se cierra, iniciando un nuevo ciclo.

Sin embargo, en la realidad, debido a la capacidad del aire para comprimirse y a la limitación de la combustión en condiciones de volumen constante, es necesario realizar ajustes en los momentos de apertura y cierre de las válvulas, así como en el momento del inicio de la combustión. Estos ajustes no coinciden exactamente con los puntos de PMS y PMI, sino que se producen con avances y retrasos con respecto a estos puntos

siguiendo la misma secuencia mencionada previamente como se puede observar en la *Figura 53*.

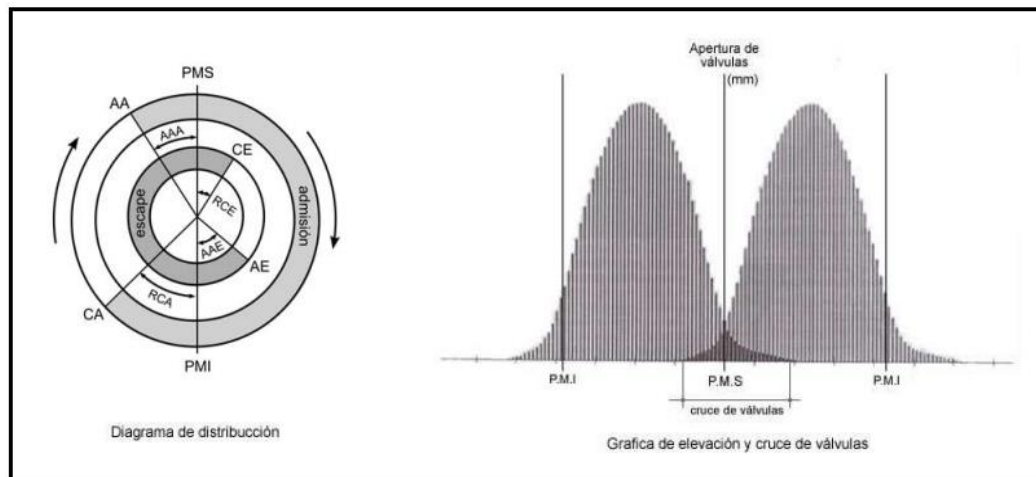


Figura 53. Diagrama de distribución y Grafica de tiempos de válvulas. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [39]

Ya conocidos los elementos principales, se ha de destacar que, a lo largo de la historia del motor de combustión interna, ha habido una gran variedad de exigencias y por ello muchas necesidades a cubrir las cuales se han podido subsanar con la creación y fabricación de las siguientes distribuciones.

## 12.1. Tipos de sistemas de distribución

### Sistema de distribución por Eje de levas en cabeza (OHC)

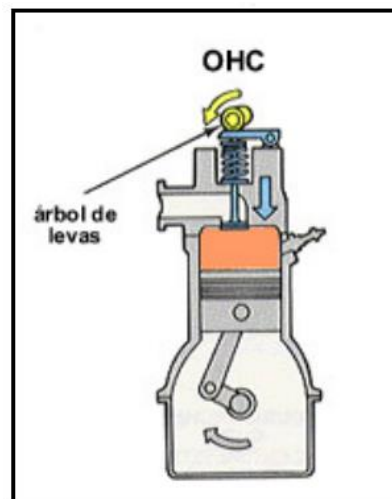


Figura 54. Sistema OHC. Fuente: [pruebaderuta.com](http://pruebaderuta.com) [40]

Es uno de los sistemas más directos de transmisión de apertura y cierre de válvulas, este sistema requiere una colocación más compleja de soportes especiales, que dan mayor dimensión en altura, y es necesario unos elementos específicos para activar la bomba de combustible, bomba de aceite y distribuidor del encendido ya que los Ejes de levas están colocados sobre la culata.

El ajuste de taqués u holgura entre el balancín y la válvula se consigue colocando finas láminas de acero hasta conseguir la holgura deseada.

Existen dos tipos de accionamiento, por mando directo o indirecto por medio de semibalancines, como se muestra en la [Figura 55](#).

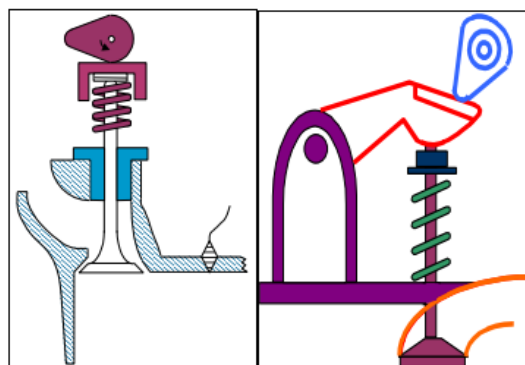


Figura 55. Sistema OHC con accionamiento directo e indirecto. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ

[41]



El accionamiento directo es un sistema que contiene pocos elementos mecánicos, se suele usar en motores revolucionados, la transferencia de movimiento entre el cigüeñal y Eje de levas es a través de una rueda dentada. También precisa de una cámara de compresión tipo hemisférica, son empleadas con tres o cuatro válvulas por cilindro.

En el accionamiento indirecto el funcionamiento es muy similar al OHC por accionamiento directo, pero en este caso el contacto de la leva no es directamente sobre la válvula; la leva entra en contacto con un balancín, el cual es empujado por la leva y como consecuencia empuja a la válvula, produciendo la apertura de la misma, para el cierre de la válvula se produce mediante un resorte como generalmente se ha visto en los MCI.

A modo de conclusión, sería interesante destacar ciertas características para la comprensión del sistema:

- El Eje de levas se encuentra ubicado en la culata del motor, directamente sobre las válvulas de admisión y escape.
- El Eje de levas en cabeza acciona directamente las válvulas de admisión y escape mediante balancines, varillas o tijeras.
- Proximidad de los elementos al colocar el Eje de levas sobre la culata reduce las dimensiones de los elementos.
- La disposición OHC permite una mejor mezcla de aire y combustible en la cámara de combustión y una mayor turbulencia.
- Se puede utilizar una distribución variable, lo que permite ajustar mejor los tiempos de apertura y cierre de válvulas, según las condiciones de operación del motor.
- Dada la posición del Eje de levas sobre la culata, se produce una reducción de longitud del tren de válvulas.

A continuación, se presentarán las ventajas y desventajas del sistema OHC:

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Reducción de inercia de los elementos	Mayor coste de fabricación
Reducción de rozamiento	Mayor dificultad de producción
Gran precisión en la apertura y cierre de válvulas	Requiere más espacio de lo normal
Mejora en rendimiento a altas RPM	
Fácil mantenimiento	Menor resistencia al desgaste

Tabla 1. Ventajas y Desventajas del sistema OHC. Fuente: Propia

### **Sistema de distribución por Eje de levas en bloque (OHV)**

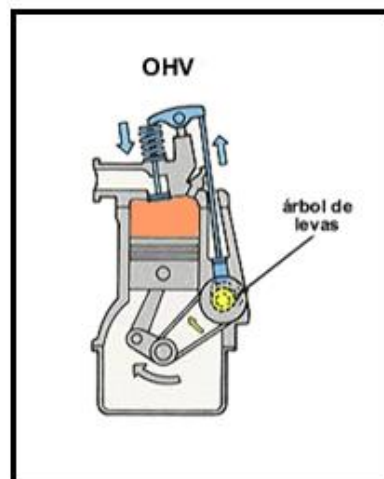


Figura 56. Sistema OHV. Fuente: [pruebaderuta.com](http://pruebaderuta.com) [45]

El sistema OHV es el sistema de distribución más usado dada su sencillez constructiva y sus interesantes características de funcionamiento, está compuesto por los siguientes elementos:

- Eje de levas
- Válvulas de admisión y de escape
- Culata
- Balancines o varillas
- Resortes de válvulas
- Taqués o empujadores
- Tapa de válvulas



El empujador o taqué, en contacto con la leva, tiene una configuración cilíndrica hueca. Dentro de esta cavidad, se coloca una varilla metálica que actúa como enlace con el balancín. El balancín, que funciona como una palanca de primer género, presenta dos brazos.

Uno de estos brazos recibe la fuerza transmitida por la varilla y está equipado con un dispositivo de ajuste de la holgura. Este mecanismo consiste en un tornillo roscado en el balancín con una tuerca de fijación para regular adecuadamente la distancia entre las partes móviles del sistema. Tiene diferentes aplicaciones como motores en línea, motores en V, motores de alta potencia y motores de aplicaciones industriales.

A modo de conclusión, resulta de particular interés resaltar ciertas características que contribuyen significativamente a la comprensión del sistema en cuestión: el Eje de levas se encuentra en el bloque motor, debajo de los cilindros y el movimiento desde el Eje de levas hasta las válvulas de admisión y escape es transmitido mediante balancines o varillas

A continuación, se presentarán las ventajas y desventajas del sistema OHV:

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Construcción simple	Menos eficiente en términos de consumo de combustible
Mayor par motor a bajas RPM	Limitaciones en altas RPM
Mayor resistencia y durabilidad	Menos control y precisión en el cierre y apertura de válvulas
Menor masa en movimiento	

Tabla 2. Ventajas y Desventajas del sistema OHV. Fuente: Propia

## Sistema de válvulas laterales (SV)

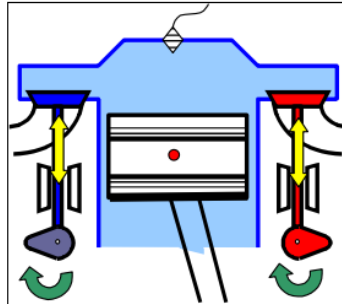


Figura 57. Sistema SV. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [41]

El sistema de válvulas laterales es un sistema muy simple, ya que se emplea muy pocos elementos para el funcionamiento de las válvulas, reduciendo al máximo los efectos de la inercia producidos por el movimiento alternativo de los empujadores, a pesar de su sencillez a nivel estructural se emplea muy poco en la actualidad.

El sistema está formado por una leva y válvula, en la cola de la válvula es colocado un empujador o taqué provisto de un tornillo regulador que permite modificar la holgura entre el vástago de válvula y el empujador, también es intercalado en el empujador, un rodillo giratorio el cual hace que el movimiento sea más suave y por ello tenga menos desgaste.

En conclusión, es de relevante interés destacar ciertas características que desempeñan un papel significativo en la comprensión del sistema en consideración:

- Las válvulas de admisión y de escape se ubican en el bloque motor, en un lateral de los cilindros.
- Tiene menos piezas móviles en comparación con configuraciones más complejas.
- La mezcla de aire combustible recorre la cámara de combustión de un lateral hacia otro.

A continuación, se expondrán las ventajas y desventajas del sistema SV (Side valve)

Ventajas	Desventajas
Menor fricción	Eficiencia limitada
Simplicidad de diseño	Menor rendimiento
Menos costo de producción	Problemas de enfriamiento
Menor complejidad electrónica	Limitaciones en altas RPM

Tabla 3. Ventajas y Desventajas del sistema SV. Fuente: Propia

### **Sistema de distribución con un solo Eje de levas (Single OverHead Camshaft) (SOHC)**

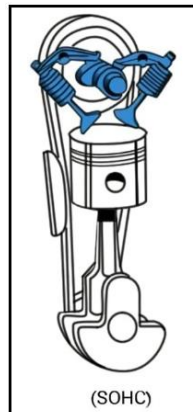


Figura 58. Sistema SOHC. Fuente: MECANICADELAMOTO.COM [42]

El sistema SOHC es un tipo de sistema de un solo Eje de levas, el cual está ubicado en la culata del motor de donde controla las válvulas de admisión y de escape, para ello, el Eje de levas es conducido por una correa que esta enlazada a su vez al cigüeñal.

Para concluir, es de suma importancia resaltar ciertas características que desempeñan un papel fundamental en el entendimiento y análisis profundo del sistema SOHC en consideración:

- El sistema SOHC emplea un solo Eje de levas, ubicado en la culata del motor.
- Este Eje de levas opera tanto las válvulas de admisión como las de escape.
- El Eje de levas trabaja en sincronía con el cigüeñal, mediante una correa o cadena de distribución.

- Los lóbulos del Eje de levas están fabricados para abrir y cerrar las válvulas en los momentos precisos durante el ciclo de trabajo del motor.
- Es diseñado para aplicaciones cotidianas y económicas como automóviles, motocicletas, embarcaciones y equipos industriales, dependiendo de los requisitos a cubrir.
- Se puede simplificar el diseño del motor y su fabricación.

### Sistema de distribución de doble Eje de levas (DOHC)

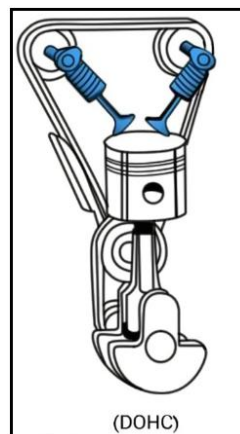


Figura 59. Sistema DOHC. Fuente: MECANICADELAMOTO.COM [42]

El sistema DOHC es un sistema muy similar al SOHC, funcionando de forma muy parecida en este caso es usado dos Eje es de levas de forma síncrona, un Eje de levas controla las válvulas de admisión mientras que otro Eje de levas situado de forma paralela a este controla las válvulas de escape, ambos Ejes de levas se hacen girar a través de una transmisión flexible como en el caso del sistema SOHC.

Seguidamente, se comparará los sistemas SOHC Y DOHC:

SOHC	DOHC
Un Eje de levas	Dos Ejes de levas
Menos coste	Más coste
Menor número de piezas móviles	Mayor número de piezas móviles
Menor rozamiento	Mayor rozamiento
Menor peso	Mayor peso

Más compacto	Es más voluminoso
Puede tener limitaciones en cuanto a términos de potencia y rendimiento	Puede alcanzar mayor potencia y rendimiento
Menor control en las válvulas	Mayor control en las válvulas
Menor cantidad de válvulas	Mayor cantidad de válvulas
Menos versátil	Más versátil

Tabla 4. Comparativa de los sistemas SOHC y DOHC. Fuente: Propia

A lo largo de la historia, los motores de combustión interna han tenido que cubrir muchas exigencias y necesidades del mercado, gracias a ello han ido evolucionando notablemente. Por último, se observará los sistemas más especiales, como el sistema Desmodrómico o los sistemas de distribución variable.

Dentro de los sistemas de distribución variable están:

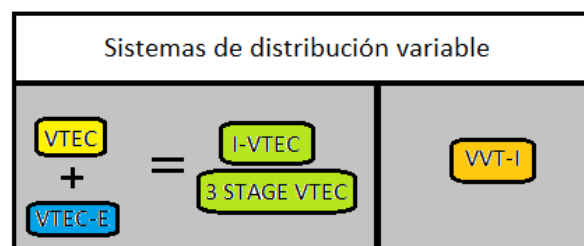


Tabla 5. Desglose de los sistemas de distribución variable. Fuente: Propia

## Sistema de distribución VTEC

El sistema VTEC fue diseñado y fabricado por Honda, permite trabajar con dos configuraciones para la mejora de potencia y rendimiento del motor, esto es posible porque monta dos tipos de levas, una para bajas y medias RPM y otra leva para altas RPM donde la válvula es abierta previamente, aumentando el flujo de aire a la entrada provocando un aumento de potencia en el motor.

El sistema está configurado de forma que, cuando el motor demanda bajas RPM o carga liviana, actúan unas levas de baja elevación que hacen trabajar de forma más eficiente y economiza mejor el combustible. Cuando se requiere más RPM o se aumenta la carga, tiene un sensor electrónico que realiza el cambio de levas con un perfil de alta elevación donde produce que la válvula esté más tiempo abierta

y baje más, esta leva consigue un mayor flujo de aire-combustible como también un mayor aporte de potencia.

El Eje de levas va girando mientras que los lóbulos impulsan a los balancines, cuando el motor solicita una mayor potencia se activa una electroválvula que impulsa suavemente un bulón logra unir los balancines de admisión provocando esto que entre en contacto la leva de alta elevación, inhabilitando la leva que impulsa a la válvula de baja elevación. El cambio de perfiles se realiza de forma suave y continua, lo que garantiza una transición segura y óptima para el rendimiento del motor.

A continuación, se va a exponer las ventajas y desventajas del sistema VTEC:

Ventajas	Desventajas
Mejora de rendimiento	Complejidad mecánica
Cambio de configuración suave y automático	
Flexibilidad en el modo de conducción	Mayor coste en reparación
Ahorro de combustible	Pérdida de rendimiento y potencia a bajas RPM
Reducción de gases	

Tabla 6. Ventajas y Desventajas del sistema VTEC. Fuente: Propia

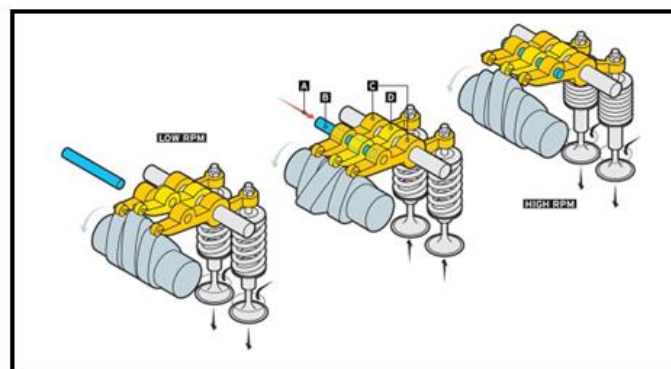


Figura 60. Sistema VTEC. Fuente: autonoción.com [43]

## Sistemas de distribución VTEC-E

El sistema VTEC-E es una variante del sistema VTEC. El objetivo principal del VTEC-E es aumentar el ahorro de combustible en condiciones de conducción más suaves y de baja carga.

El diseño reduce considerablemente el consumo, pero carece de la potencia que aporta el VTEC. Esto es a consecuencia de funcionar como un motor de 12 válvulas en lugar de sus 16 con las que se trabajaría en un motor normal. Esto provoca una reducción de aire en la admisión, al no permitir que se abra completamente una válvula de las dos válvulas.

## Sistemas de distribución I-VTEC

El sistema I-VTEC es una variante que combina las ventajas del sistema VTEC Y VTEC-E, la potencia del VTEC a altas RPM y el ahorro de combustible a bajas RPM del VTEC-E. Para ello, en la presente distribución, no solo se modifica el tiempo de apertura y cierre de las válvulas o altura, sino que también, el Eje de levas se puede girar en un cierto ángulo, gracias a la tuerca de engranaje del mismo Eje de levas, esta tuerca (Controlador) se podrá ver con más detalle en el sistema de distribución VVT-I.

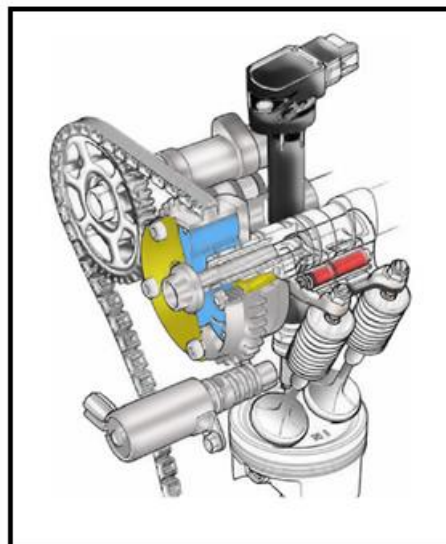


Figura 61. Sistema I-VTEC. Fuente: blog Mecánicos [44]

## Sistemas de distribución 3 Stage VTEC

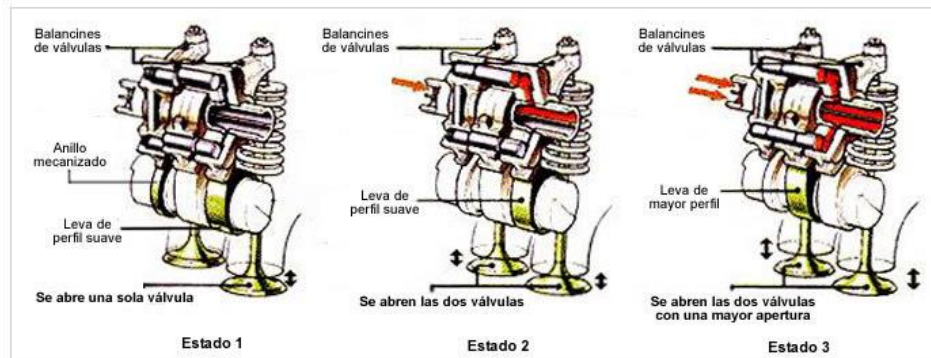


Figura 62. Sistema 3 Stage VTEC. Fuente: espíritu RACER [45]

Se sigue intentando optimizar aún más el sistema de distribución VTEC, de ahí nace el sistema 3 Stage VTEC, siendo este una variante más del VTEC. El funcionamiento consiste en agregar un tercer perfil de leva para la válvula de admisión. Esto significa que el motor tiene tres configuraciones en lugar de solo dos, lo que proporciona un mayor rango de optimización en el que conseguir:

- Leva con perfil de media elevación: una zona intermedia donde el motor aporte potencia, pero sea un flujo intermedio para el consumo de combustible.
- Levas con perfil de baja elevación: se busca el mayor ahorro de aire-combustible a bajas RPM.
- Levas con perfil de alta elevación: mayor potencia y rendimiento a altas RPM.

## Sistema de distribución de válvulas variables (VVT-I)

La distribución VVT-I es un sistema inteligente que tiene como objetivo economizar el combustible y aportar una gran potencia cuando se le demande. Para ello dispone de un sistema de válvulas electrónico y un controlador.

Cuando el motor trabaja a bajo rendimiento, el sistema de válvulas (ECU del motor) está posicionado de tal forma que la presión de aceite circula hacia un sentido, para provocar que el controlador de VVT-I esté girando sentido antihorario; esto hace que el Eje de levas gire 60 grados retrasando la apertura y cierre de válvulas como se puede ver en la [Figura 63](#).

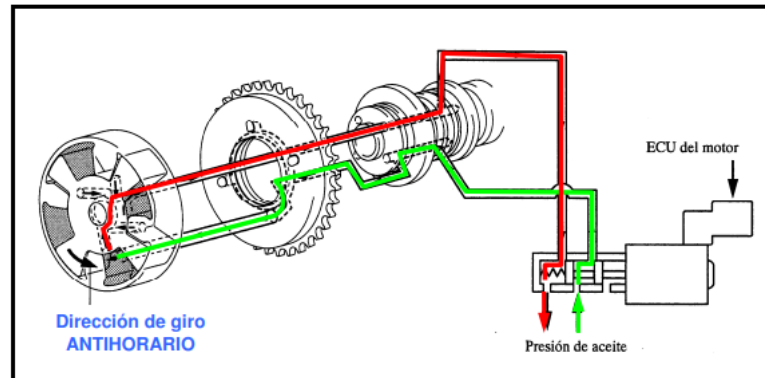


Figura 63. Sistema VVT-I (Posición de retardo). Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [46]

Posteriormente, si el motor demanda más potencia, el sistema VVT-I adopta una nueva configuración en el que el sistema de válvulas (ECU del motor) cambia de posición provocando que la presión de aceite cambie de sentido y así actúa girando el controlador de VVT-I, 60 grados sentido horario el Eje de levas, para así adelantar la apertura y cierre de válvulas, como se puede apreciar en la *Figura 64*.

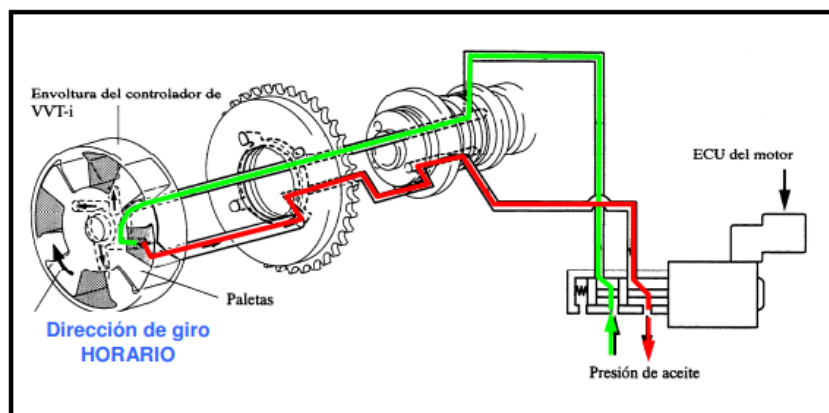


Figura 64. Sistema VVT-I (Posición de avance). Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [46]

## Sistema de distribución de válvulas variables (VVTL-I)

El sistema VVTL-I es una variante del VVT-I, resultando muy parecido al funcionamiento del VTEC-I, es una configuración que adopta dos estados de trabajo. Cuando las condiciones de conducción son suaves y de baja carga, actúan las levas de baja elevación, en cambio, cuando la conducción es agresiva o de alta carga, entran en acción las levas de alta elevación como habíamos visto en el VTEC-I. Pero este sistema varía en su forma de actuar en el cambio de configuraciones.

Cada brazo del eje de balancín dispone de un seguidor del deslizador equipado al brazo del eje del balancín con un resorte. Cuando MCI está funcionando a unas RPM inferiores a 6000, el lóbulo bajo está haciendo que funcione el brazo del eje del balancín y así las válvulas. Cuando el motor alcanza las 6000 RPM, la ECU activa un interruptor de presión del aceite, que empuja un perno debajo del seguidor del deslizador en cada brazo del eje de balancín. Esto hace que el lóbulo alto se desactive, lo que provoca una menor elevación de las válvulas y una duración más corta.

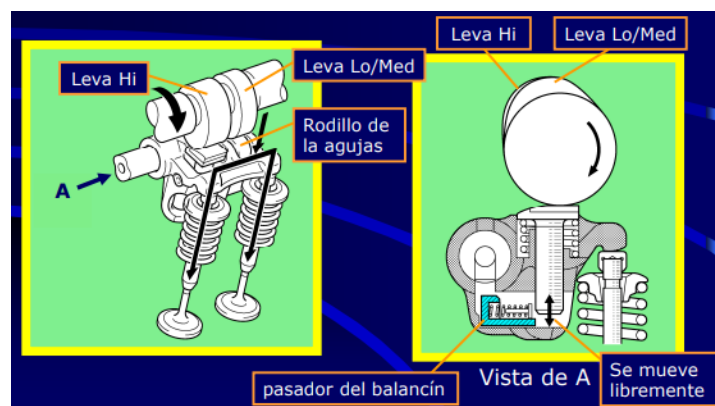


Figura 65. Sistema VVTL-I. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [46]

Para concluir con los sistemas VVT-I y VVTL-I en la gráfica 7 se puede ver que el sistema VVTL-I decae menos y tiene más torque que el sistema VVT-I a partir de las 6000 RPM.

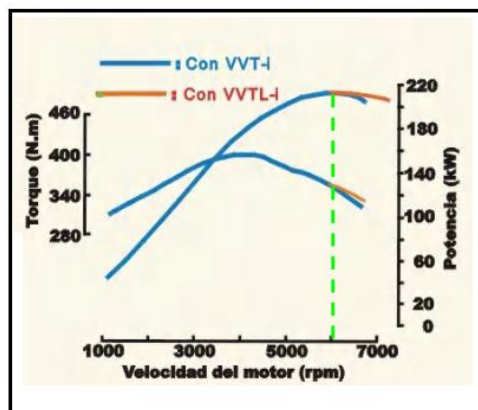


Tabla 7. Comparación de parámetros cinemáticos de los sistemas VVT-i y VVTL-i. Fuente: MECANICO AUTOMOTRIZ [46]

### 12.1.1. Sistema de distribución Desmosdrómico

A lo largo de la historia el sistema Desmosdrómico ha sido diseñado por diferentes megafactorías con diferentes configuraciones como se puede observar en la *Figura 66*.

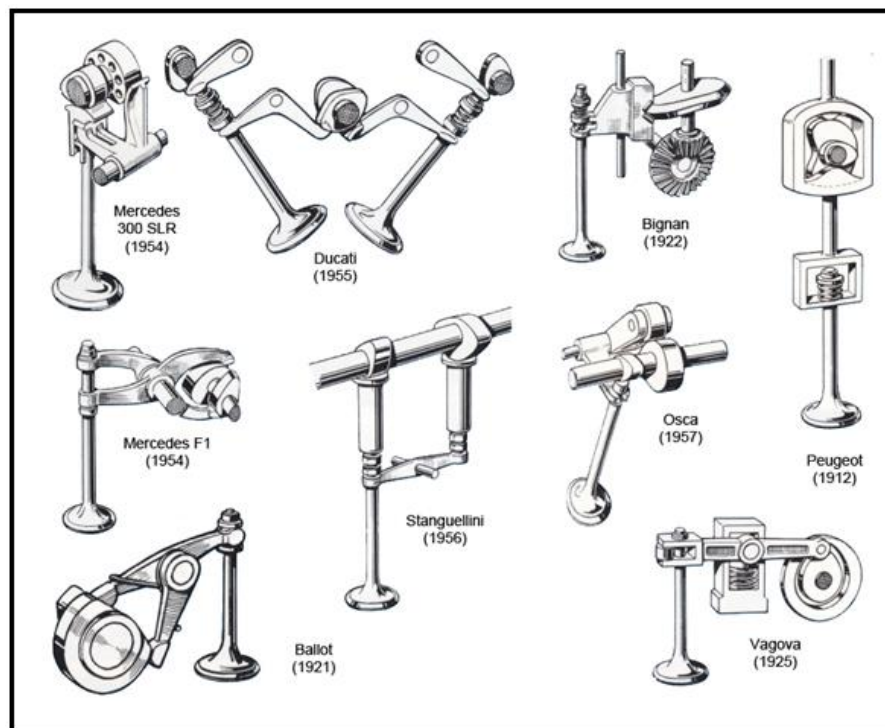


Figura 66. Sistemas Desmosdrómicos. Fuente: blog Mecánicos [47]

El presente TFG se centrará en la descripción de la aplicación del sistema Desmosdrómico de Ducati.

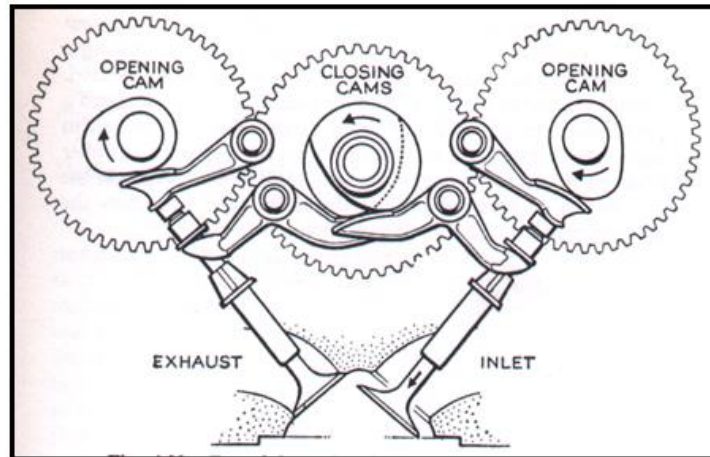


Figura 67. Sistema Desmosdrómico de Ducati. Fuente: clubjapo [48]

El sistema Desmosdrómico de Ducati es una innovación de diseño de motores que se basa en el uso de levas tanto para abrir como para cerrar las válvulas en lugar de depender únicamente de resortes, como en los sistemas de mando de válvulas convencionales. Esta tecnología única ha sido un distintivo de las motocicletas Ducati y ha contribuido a su reputación en el mundo del alto rendimiento.

El objetivo fundamental del sistema Desmosdrómico es superar las limitaciones de los sistemas de válvulas accionados por resortes en motores de alto rendimiento. A altas velocidades de giro del motor, los resortes convencionales pueden tener dificultades para cerrar las válvulas con la rapidez y precisión necesarias. Esto puede resultar en un fenómeno conocido como “flotación de válvulas”, donde las válvulas no cierran completamente debido a la inercia generada por la alta velocidad de rotación.

Para contrarrestar este problema, Ducati introdujo el sistema Desmosdrómico, que utiliza levas para controlar tanto la apertura como el cierre de las válvulas de admisión y escape. En este sistema, una leva abre la válvula al mismo tiempo que otra leva la cierra, asegurando un cierre controlado y preciso sin depender de la acción de un resorte. Esto permite que las válvulas se cierren más rápidamente y de manera más uniforme, evitando la flotación y permitiendo un control más preciso sobre el tiempo y la duración de las fases de admisión y escape.

El funcionamiento del sistema Desmosdrómico en una motocicleta Ducati implica una serie de componentes y mecanismos especializados, cada válvula está equipada con dos levas: una para abrir y otra para cerrar. Estas levas están sincronizadas con el movimiento del Eje de levas y operan a través de varillas o varillajes especiales que transmiten el movimiento desde las levas hasta las válvulas.



El diseño de las levas y los mecanismos de transmisión se optimiza cuidadosamente para garantizar que las válvulas se abran y cierren de manera precisa y rápida. Además, el sistema Desmodrómico requiere un mantenimiento más riguroso que los sistemas de resortes convencionales, debido a la fricción y el desgaste asociados con los componentes adicionales.

Si bien el sistema Desmodrómico aumenta la complejidad de diseño y fabricación de los motores, sus ventajas son significativas en términos de rendimiento y control. Las motocicletas equipadas con este sistema pueden alcanzar revoluciones más altas de manera más segura y obtener un mejor rendimiento en pista y carretera, lo que es esencial para los pilotos y entusiastas de alto rendimiento.

La distribución desmodrómica de Ducati es una maravilla de la ingeniería de los motores, y su diseño y fabricación involucran una selección precisa de materiales y una meticulosa atención a los detalles.

A continuación, se describirá los diferentes elementos que formarían el sistema:

### **Levas y Mecanismos de Transmisión**

Las levas son uno de los componentes más críticos del sistema Desmodrómico. Estas piezas son elaboradas a partir de aceros de alta calidad, a menudo aleaciones con propiedades resistentes al desgaste y a altas temperaturas. El diseño de las levas debe garantizar una forma precisa y un perfil adecuado para lograr los objetivos mencionados anteriormente. Además, se aplican tratamientos térmicos y de superficie para mejorar la resistencia al desgaste y la durabilidad.

Los mecanismos de transmisión, que conectan las levas con las válvulas, también están fabricados con aceros especiales o aleaciones ligeras, que deben ser lo suficiente robustas como para soportar las fuerzas de manera precisa. Estos componentes deben ser resistentes a la fatiga y a la abrasión para soportar el ciclo continuo de operación.

### **Válvulas y Asientos de Válvulas**

Las válvulas utilizadas en el sistema Desmodrómico también se fabrican con aceros de alta calidad o aleaciones especiales que resisten las altas temperaturas y las condiciones abrasivas del motor. La elección de los materiales es crítica para prevenir la deformación y el desgaste prematuro en las puntas de las válvulas que se asientan en los asientos de las válvulas.

Los asientos de válvulas están diseñados para complementar las propiedades de las válvulas. Pueden estar hechos de aceros tratados térmicamente o incluso



insertos de materiales cerámicos, que mejoran la resistencia al calor y al desgaste en condiciones de alta temperatura y fricción.

### **Mantenimiento y Durabilidad**

Dado que el sistema Desmosdrómico opera sin resortes y los componentes están sometidos a cargas repetitivas y altas temperaturas, el mantenimiento como antes se mencionó, es crucial. Los intervalos de servicio deben ser observados cuidadosamente para garantizar que los componentes estén en óptimas condiciones y que no se produzcan fallas catastróficas debido al desgaste. La lubricación adecuada y observación de tolerancias precisas son esenciales para un funcionamiento confiable a lo largo del tiempo de vida del motor.

## **13. Diseño de piezas y ensamblaje del conjunto elaborado con SolidWorks**

La parte CAD se ha elaborado con el programa Solid-Works, un programa con gran experiencia en el CAD-CAM que lleva en el mundo de la ingeniería desde el 1993, diseñado por el ingeniero Jon Hirschtick como fundador y su equipo de ingenieros.

Este software consta de una gran variedad de herramientas para elaborar de forma precisa el dimensionado de las piezas, como también ensamblar el conjunto, el cual mediante relaciones de posición y gracias a los complementos de Solid Works, se puede simular el movimiento y funcionamiento del ensamblaje diseñado, entre otras más funciones.

A continuación, se va a detallar el proceso de diseño de cada una de las piezas del sistema desmosdrómico de Ducati y se finalizará este apartado con el proceso paso a paso de cómo se ha elaborado el ensamblaje del conjunto.

El conjunto consta de las siguientes piezas:

- 2 Válvulas de admisión
- 2 Válvulas de escape
- 4 Levas pequeña
- 4 Levas grande
- 4 Balancines para bajar la válvula
- 4 Balancines para subir la válvula
- 2 Piñones
- 2 Ejes principales (donde se acoplan los piñones)
- 4 Ejes secundarios (donde se acoplan los balancines)
- 1 Cadena
- 8 Taqués
- 8 Taqués



**Nota:** Importante, en el croquizado de cada pieza, acotar correctamente para fijar su geometría de croquis.

La elaboración de la maqueta en SolidWorks se ha realizado de la manera más sencilla, para facilitar luego el ensamblaje. A continuación, se denotarán las operaciones diferentes que se han de realizar en dicho ensamblaje:

- Las levas grandes y pequeñas se han elaborado de forma independiente y no solidarias al eje principal, para así en el montaje del conjunto poder darle el ángulo adecuado fácilmente y conseguir las tangencias constantes que se requiere en el sistema entre Levas-Balancines-Taqués.
- Los piñones se han diseñado solidario al eje 1 para disminuir el número de componentes del ensamblaje, es decir, piñón y eje es una pieza, así el programa necesita menos memoria para procesar luego las piezas en el conjunto y procesar su simulación.

### **Elaboración de las válvulas de admisión:**

La válvula de admisión se ha dimensionado croquizando su geometría para extruirla con el comando revolución, a partir de un eje de revolución.

Pasos:

- Croquis → “Croquis” (Se realiza el croquis en base a un plano de referencia)  
*Figural.1*
- Operaciones → “Geometría de referencia” → “Eje”
  - Seleccionar “Dos planos
  - Seleccionar: dos planos que su intersección genere el eje de revolución deseado
- Operaciones → “Revolución de saliente/base” *Figural.2*
  - Seleccionar eje de revolución.
  - Dirección1: hasta la profundidad especificada y escribir debajo 360°

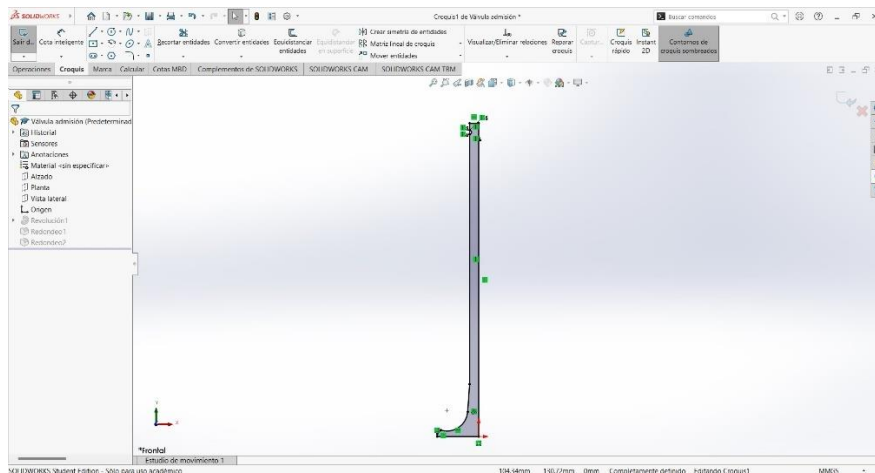


Figura 1.1. Croquis inicial de la Válvula de admisión. Fuente: SolidWorks

Una vez realizado el croquis inicial se procede a extruir 360°, en referencia de un eje de revolución como anteriormente se ha mencionado.

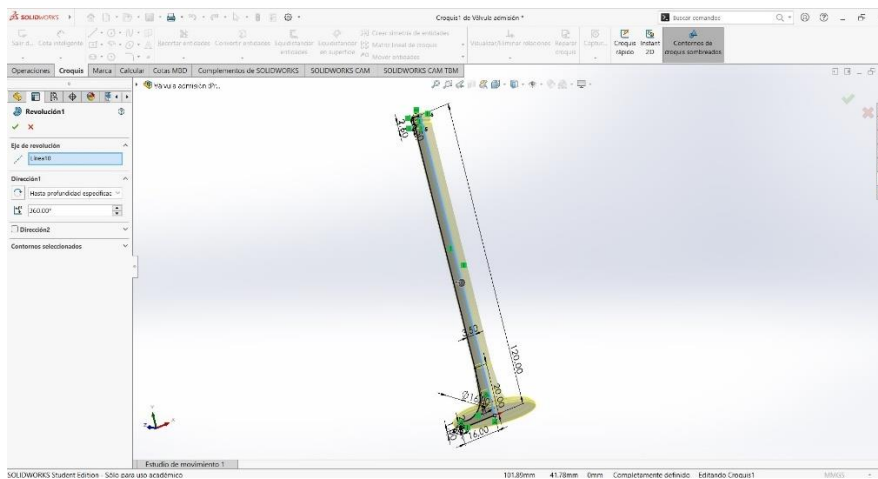


Figura 1.2. Extrusión por revolución de la Válvula de admisión. Fuente: SolidWorks

Resultado final.

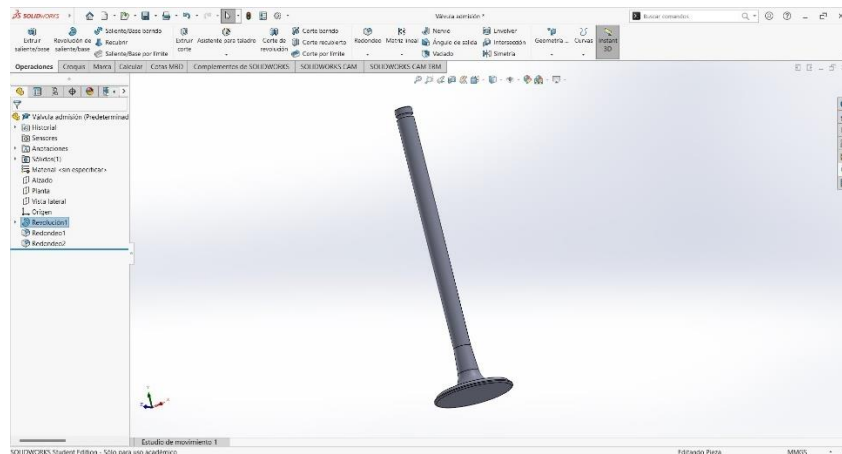


Figura 1.3. Resultado final de la Válvula de admisión. Fuente: SolidWorks

### **Elaboración de las válvulas de escape:**

La válvula de escape se ha dimensionado croquizando su geometría para extruirla con el comando revolución, a partir de un eje de revolución siguiendo los mismos pasos que se han descrito para la válvula de admisión, salvo que la válvula de escape tiene la base más pequeña, esta diferencia se tiene en cuenta en el croquizado.

Pasos:

- Croquis → “Croquis” (Se realiza el croquis en base a un plano de referencia) *Figura 1.1*
- Operaciones → “Geometría de referencia” → “Eje”
  - Seleccionar “Dos planos”
  - Seleccionar: dos planos que su intersección genere el eje de revolución deseado
- Operaciones → “Revolución de saliente/base” *Figura 1.2*
  - Seleccionar eje de revolución
  - Dirección 1: hasta la profundidad especificada y escribir debajo 360°

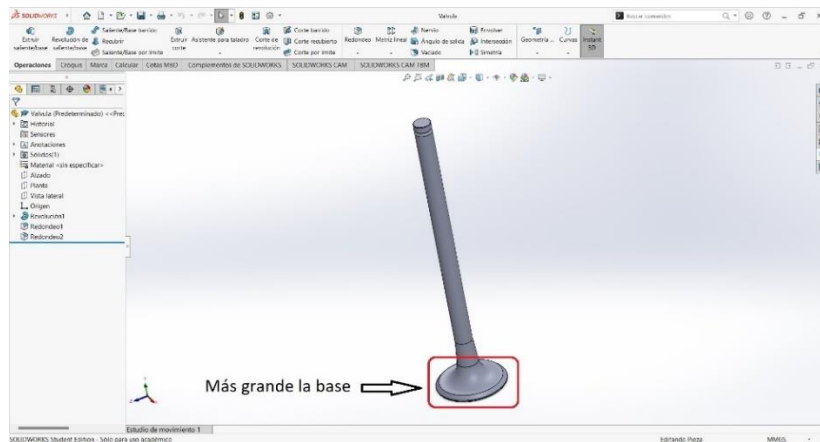


Figura 2.1. Resultado final de la Válvula de escape. Fuente: SolidWorks

### Elaboración del elemento Guía:

La pieza guía se ha dimensionado croquizando su geometría para extruirla con el comando revolución, a partir de un eje de revolución.

Pasos:

- Croquis → “Croquis” (Se realiza el croquis en base a un plano de referencia)  
*Figura 3.1*

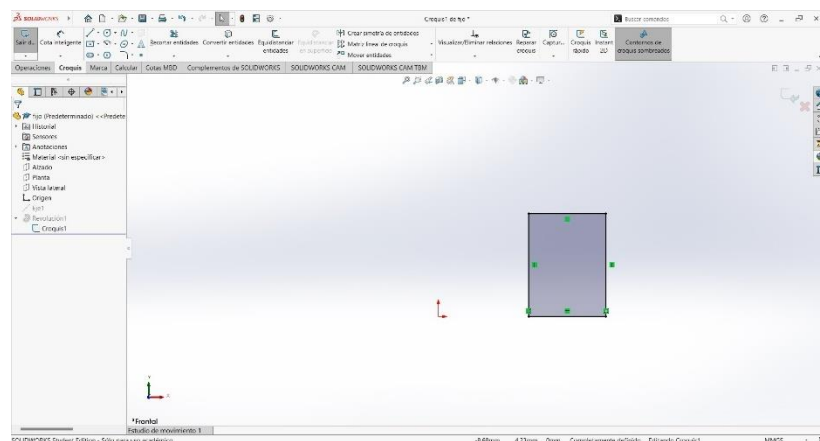


Figura 3.1. Croquis de la pieza guía. Fuente: SolidWorks

- Operaciones → “Geometría de referencia” → ”Eje”
  - o Seleccionar “Dos planos”
  - o Seleccionar: dos planos que su intersección genere el eje de revolución deseado
  
- Operaciones → “Revolución de saliente/base” *Figura 3.2*
  - o Seleccionar eje de revolución.
  - o Dirección 1: hasta la profundidad especificada y escribir debajo 360°

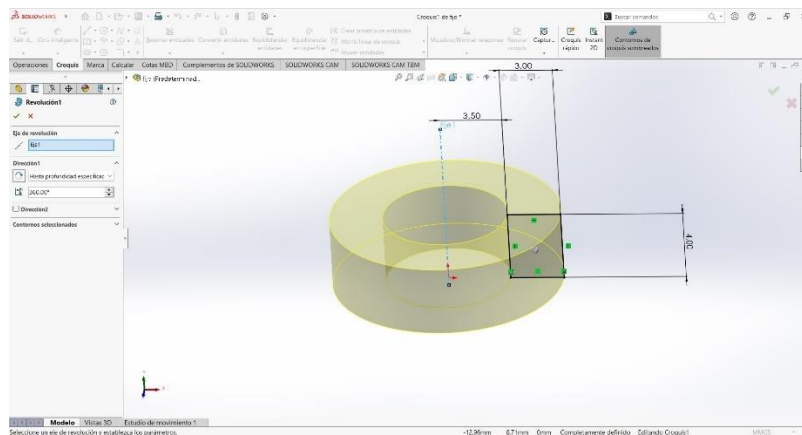


Figura 3.2. Operación de revolución de la pieza guía. Fuente: SolidWorks

Resultado final.

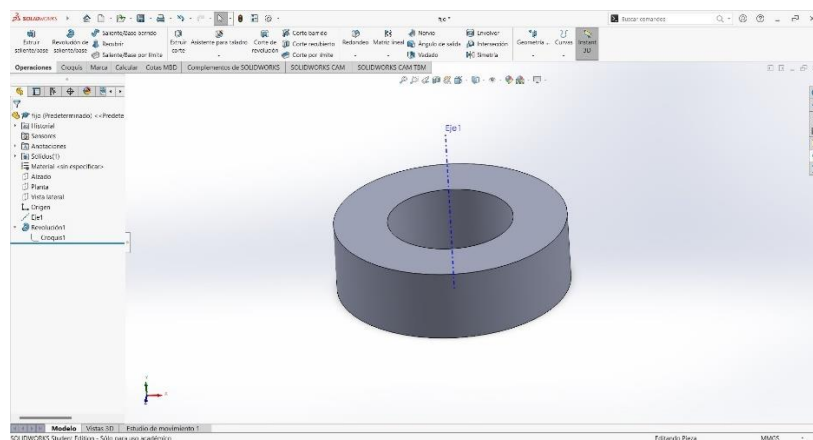


Figura 3.3. Resultado final de la pieza de guía. Fuente: SolidWorks

## Elaboración de Taqués:

Los taqués han sido dimensionados a partir de un croquizando de su geometría para posteriormente ser extruida con el comando revolución, a partir de un eje de revolución.

Como hasta ahora, todas las piezas han sido generadas a partir del comando “Revolución de saliente/base”, pueden parecer que son las mismas piezas, estas piezas tienen su complejidad en el croquizado y acotado de las mismas, ya que en las demás operaciones siguen las mismas secuencias que hasta ahora se ha apreciado.

Pasos:

- Croquis → “Croquis” (Se realiza el croquis en base a un plano de referencia)  
*Figura 4.1*
- Operaciones → “Geometría de referencia” → “Eje”
  - Seleccionar “Dos planos”
  - Seleccionar: dos planos que su intersección genere el eje de revolución deseado

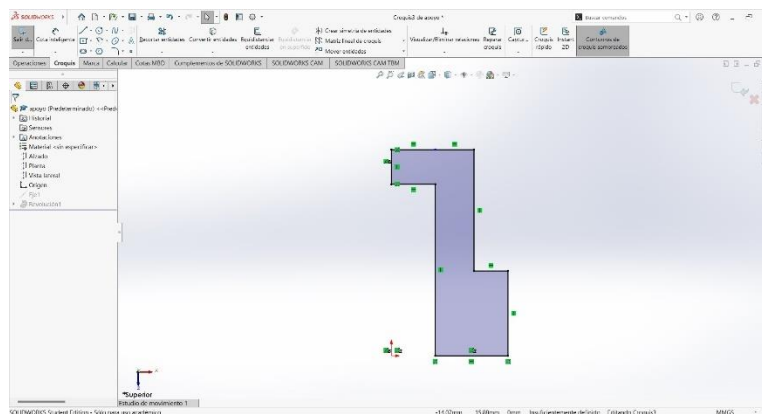


Figura 4.1. Croquis Taqué. Fuente: SolidWorks

- Operaciones → “Revolución de saliente/base” *Figura 4.2*
  - o Seleccionar eje de revolución.
  - o Dirección1: hasta la profundidad especificada y escribir debajo 360°

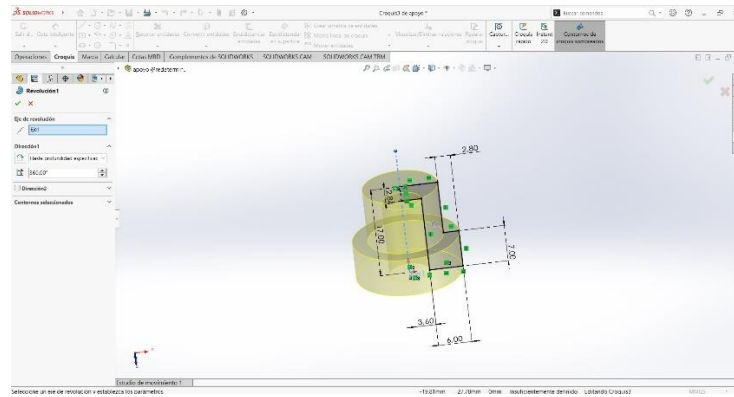


Figura 4.2. Extrusión de saliente/base en pieza Taqué. Fuente: SolidWorks

Resultado final.

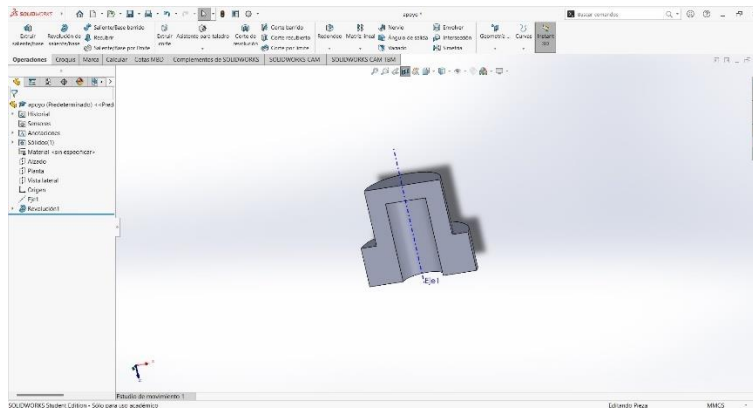


Figura 4.3. Corte de pieza Taqué. Fuente: SolidWorks

## Elaboración de ejes secundarios:

El presente elemento es una pieza de revolución que consta de un croquizado simple, pues es un rectángulo como se puede apreciar en la *Figura 5.1*.

Pasos:

- Croquis → “Croquis” (Se realiza el croquis en base a un plano de referencia)  
*Figura 5.1*

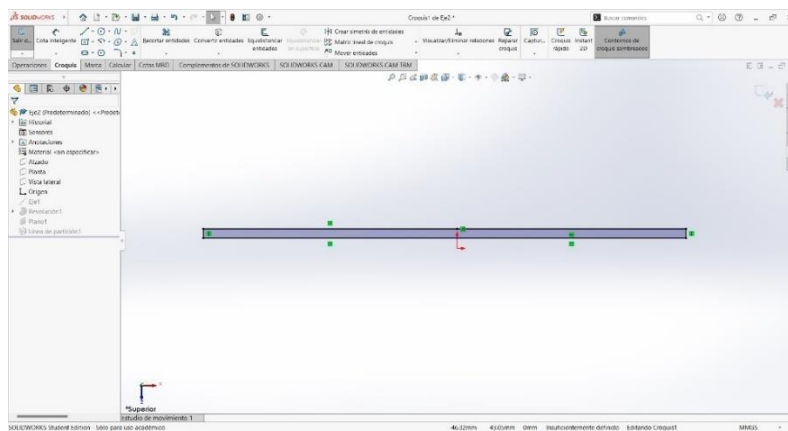


Figura 5.1. Croquis Eje 2. Fuente: SolidWorks

- Operaciones → “Geometría de referencia” → “Eje”
  - o Seleccionar “Dos planos”
  - o Seleccionar: dos planos que su intersección genere el eje de revolución deseado

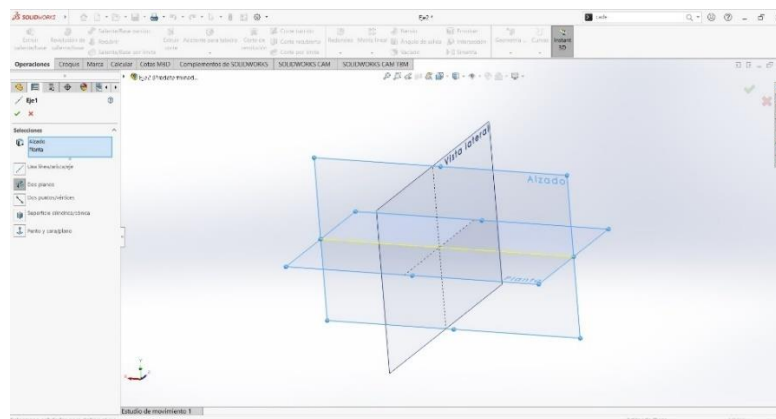


Figura 5.2. Generación de eje de revolución en Eje 2. Fuente: SolidWorks

- Operaciones → “Revolución de saliente/base” *Figura 5.3*
  - o Seleccionar eje de revolución.
  - o Dirección1: hasta la profundidad especificada y escribir debajo 360°

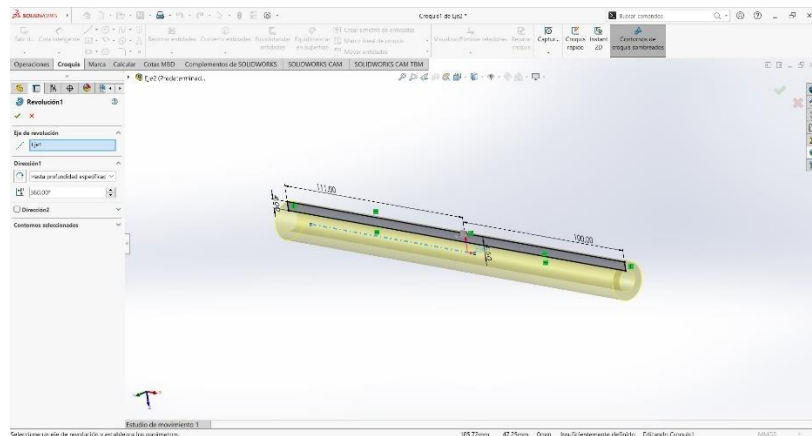


Figura 5.3. Operación de revolución de Eje 2. Fuente: SolidWorks

Para finalizar esta pieza se da a validar la operación y el resultado final sería el siguiente:

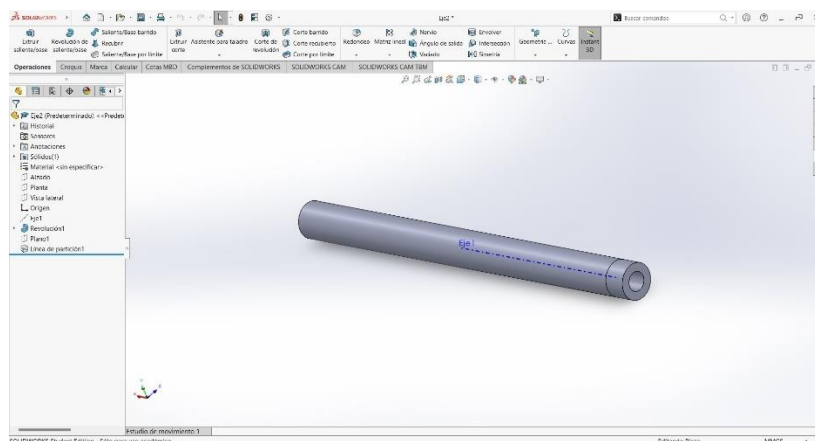


Figura 5.4. Resultado final de Eje 2. Fuente: SolidWorks

## Elaboración de Leva 1:

Para el dimensionado de la Leva 1 se realiza el croquizado, diseñando el contorno y los orificios que contiene dentro del perfil, así con la operación de extrusión se realizan los orificios en el mismo momento que se extruye la pieza.

Pasos:

- Croquis → “Croquis” (Realizar el croquis en base a un plano de referencia) *Figura 6.1*

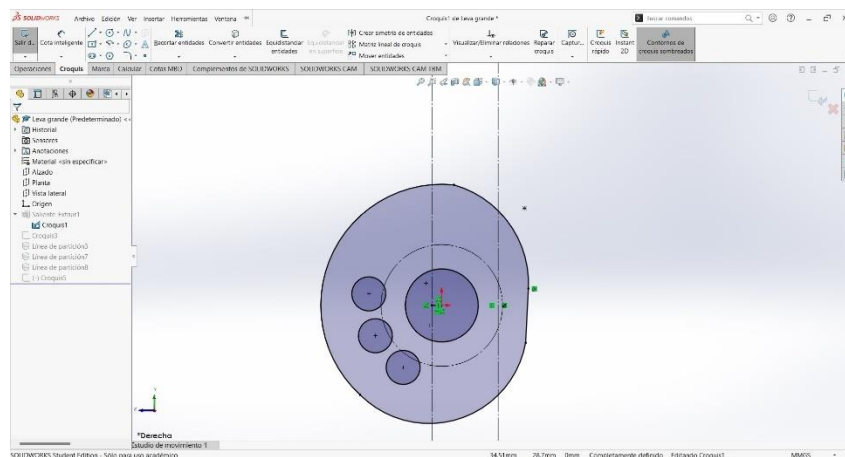


Figura 6.1. Croquis de Leva 1. Fuente: SolidWorks

- Operaciones → “Extruir saliente/base” (Seleccionar el croquis realizado excluyendo los orificios) *Figura 6.2*
  - o Desde → Seleccionamos el plano desde el que se quiere extruir, en el caso presente sería “plano de croquis”
  - o Dirección 1 → Del desplegable se selecciona “hasta profundidad especificada”
  - o Debajo en el recuadro numérico se introduce el valor de la distancia que se desea extruir



## Elaboración de Leva 2:

Para el dimensionado de la Leva 2 se han de seguir los mismos procesos que en la Leva 1. Para ello, se tiene que realizar el croquizado, diseñando el contorno y el orificio que contiene en el centro del perfil, así con la operación de extrusión se realiza el orificio en el mismo momento que se extruye la pieza.

Pasos:

- Croquis → “Croquis” (Realizar el croquis en base a un plano de referencia)  
*Figura 7.1*

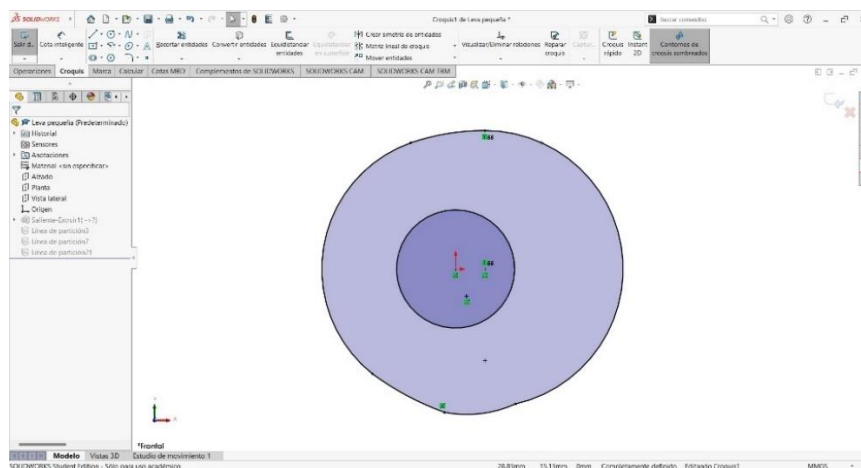


Figura 7.1. Croquizado de Leva 2. Fuente: SolidWorks

- Operaciones → “Extruir saliente/base” (Seleccionar el croquis realizado excluyendo los orificios) *Figura 7.2*
  - Desde → Seleccionamos el plano desde el que se quiere extruir, en el caso presente sería “plano de croquis”
  - Dirección 1 → Del desplegable se selecciona “hasta profundidad especificada”
  - Debajo, en el recuadro numérico, se introduce el valor de la distancia que se desea extruir

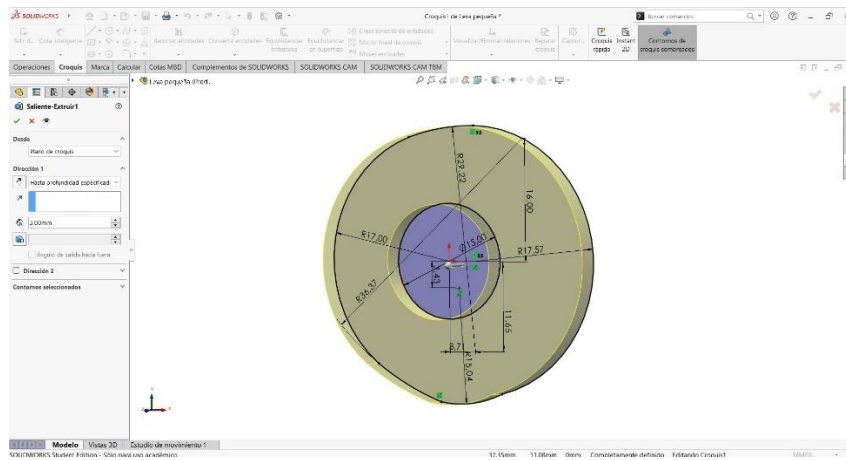


Figura 7.2. Extrusión de leva 2. Fuente: SolidWorks

Resultado final.

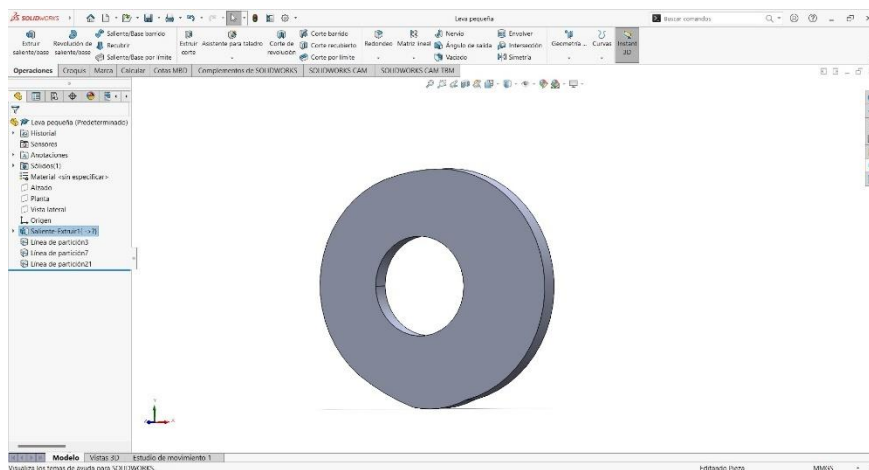


Figura 7.3. Resultado final de Leva 2. Fuente: SolidWorks

## Elaboración de balancín para bajar la válvula:

Para la realización del balancín es necesario saber usar nuevas herramientas que hasta al momento no se han utilizado.

Pasos:

- Croquis → “Croquis” (Realizar el croquis en base a un plano de referencia) *Figura 7.1*

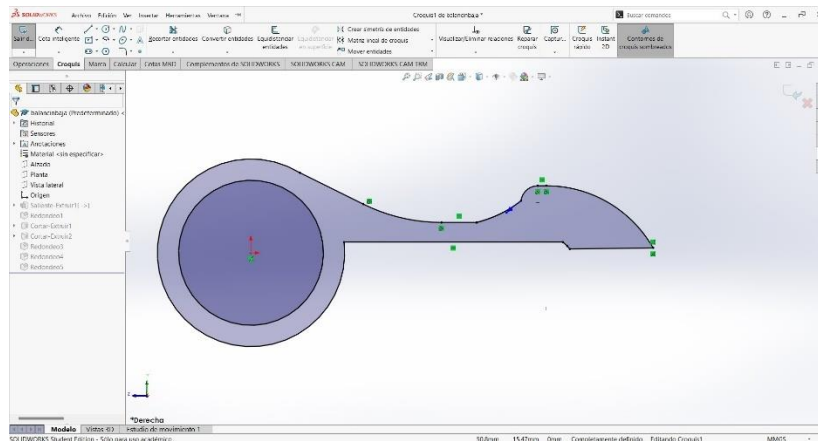


Figura 8.1. Croquis de Balancín 2. Fuente: SolidWorks

- Operaciones → “Extruir saliente/base” (Seleccionar el croquis realizado excluyendo el orificio) *Figura 8.2*
  - o Desde → Seleccionamos el plano desde el que se quiere extruir, en el caso presente sería “plano de croquis”
  - o Dirección 1 → Del desplegable se selecciona “hasta profundidad especificada”
  - o Debajo, en el recuadro numérico se introduce el valor de la distancia que se desea extruir

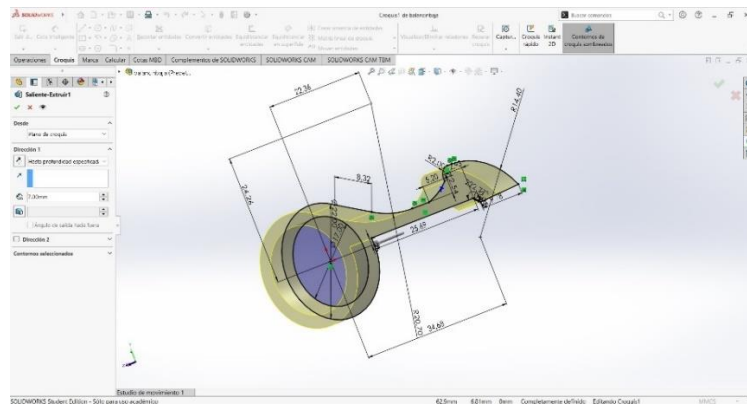


Figura 8.2. Extrusionado de croquis de Balancín 2. Fuente: SolidWorks.

- Croquis → “Croquis” (Realizar el croquis en base a un plano de referencia) *Figura 8.3*

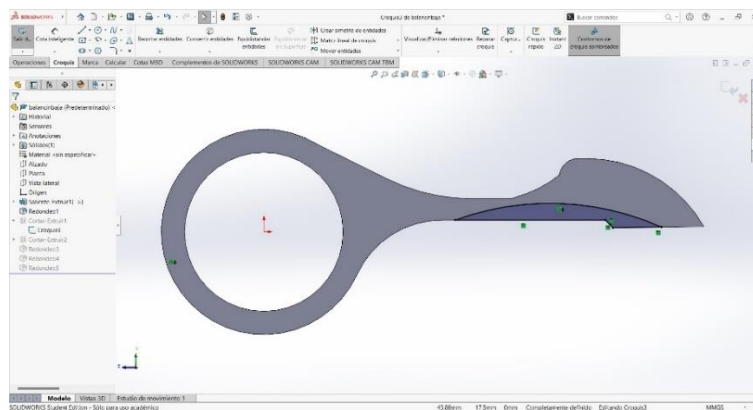


Figura 8.3. Croquis para la operación recorte en Balancín 2. Fuente: SolidWorks

- Operaciones → “Extruir corte” (Seleccionar el croquis realizado) *Figura 8.4*

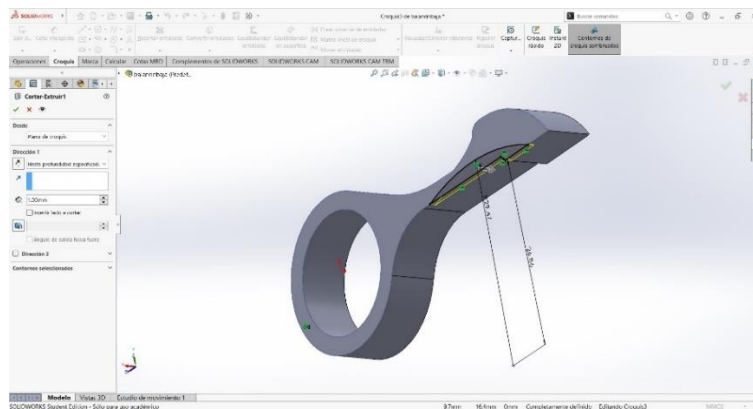


Figura 8.4. Extrusionado de Recorte en croquis de Balancín 2. Fuente: SolidWorks

EL siguiente paso se puede hacer de dos formas igual de eficaces:

**1. Con esta forma de proceder ya se realizaría el corte en “una operación”**

- Operaciones → “Matriz lineal”
  - o “Matriz lineal” → “Simetría”
    - Simetría de cara plano → Seleccionar un plano medio desde donde se quiere realizar la simetría (si no se dispone de uno habría que crearlo, con el comando de “geometría de referencia”)
    - Operaciones para hacer simetría → Seleccionar el croquis que se quiere hacer (se podría seleccionar, desplegando las pestañas del Eje 1 de operaciones)

**2. Esta es la forma en la que se ha elaborado para realizar el corte de la geometría deseada**

- Croquis → “Croquis”
  - o “Croquis” → Seleccionar las líneas de la operación anterior pulsando ctrl+clíc izquierdo del ratón → “Convertir entidades”

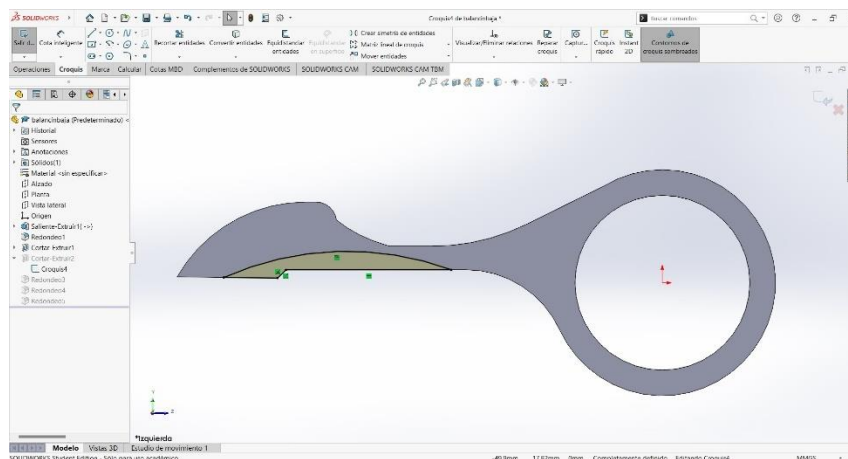


Figura 8.5. Segundo croquis de Balancín 2. Fuente: SolidWorks

- Operaciones → “Extruir corte” (Seleccionar el croquis realizado) *Figura 8.6*
  - Desde → Seleccionamos el plano desde el que se quiere extruir, en el caso presente sería “plano de croquis”
  - Dirección 1 → Del desplegable se selecciona “hasta profundidad especificada”
  - Debajo en el recuadro numérico se introduce el valor de la distancia que se desea extruir el corte

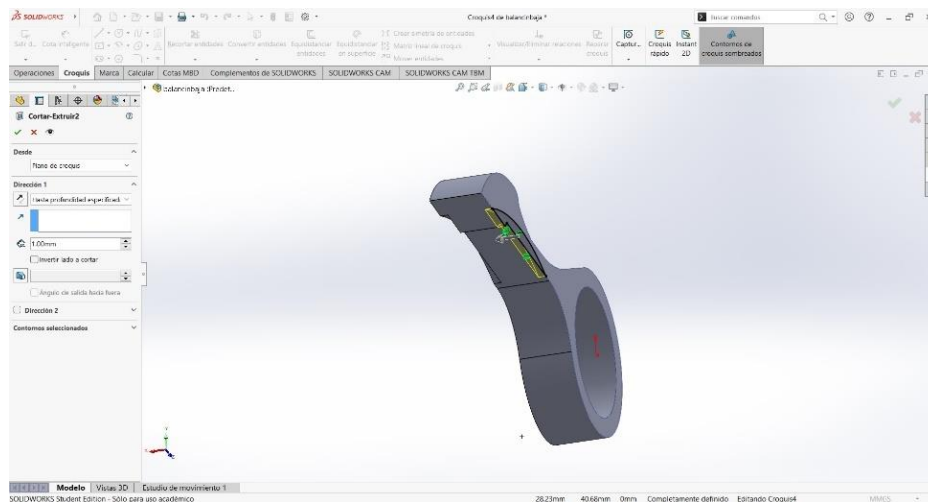


Figura 8.6. Recorte de segundo croquis de Balancín 2. Fuente: SolidWorks

Aquí termina el proceso de elaborar el corte.

- Operaciones → “Redondeo”
  - “Elementos para redondear” → seleccionar la esquina que se desea redondear
  - “Parámetros de redondeo” → Se escribe dentro del cuadro el radio deseado del redondeo

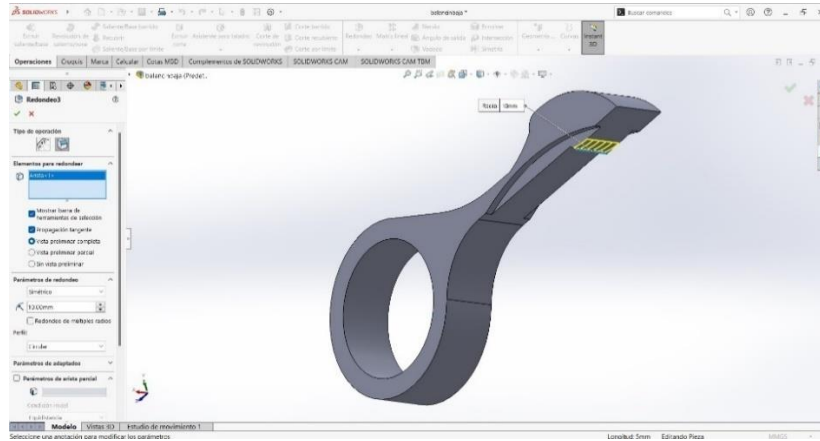


Figura 8.7. Primera operación de redondeo en Balancín 2. Fuente: SolidWorks

- Operaciones → “Redondeo” (Se realiza igual que la operación anterior)

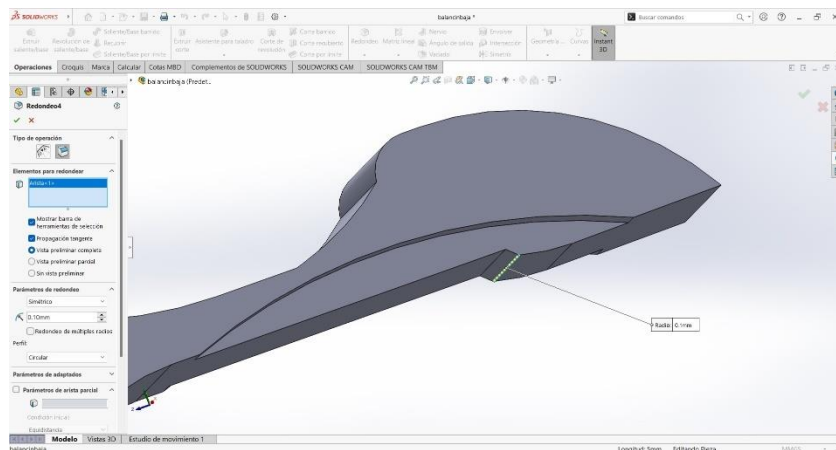


Figura 8.8. Segunda operación de redondeo en Balancín 2. Fuente: SolidWorks

- Operaciones → “Redondeo” (Se realiza igual que la operación anterior)

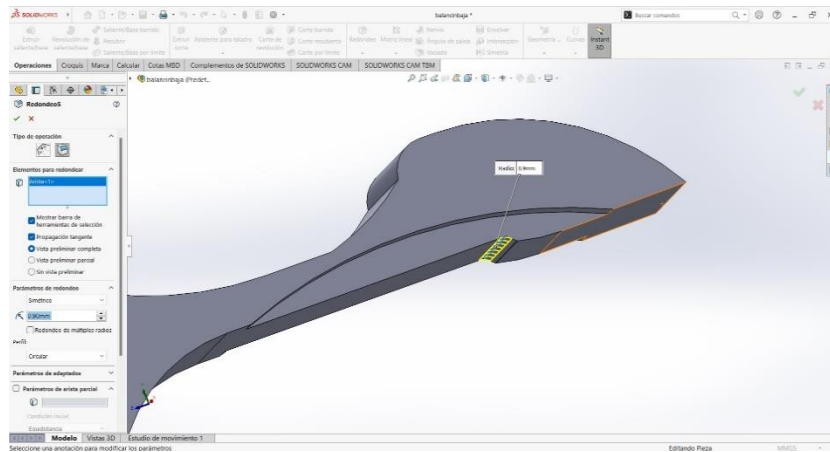


Figura 8.9. Tercera operación de redondeo en Balancín 2. Fuente: SolidWorks

Resultado final.

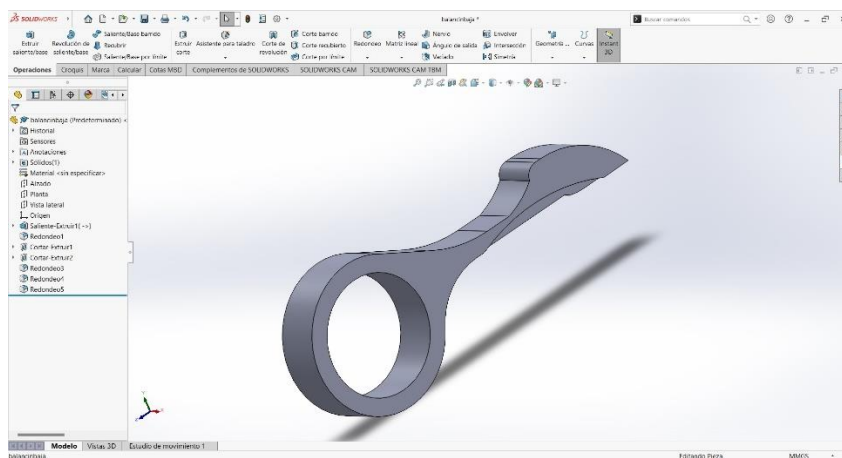


Figura 8.10. Balancín 2 (Resultado final). Fuente: SolidWorks

## Elaboración de balancín para subir la válvula:

El siguiente elemento, es uno de los más importantes y complejos de todo el conjunto, debido a su cantidad de procesos de elaboración y líneas curvas, precisas para conservar las tangencias posteriormente en el ensamblaje.

Pasos:

- Croquis → “Croquis” (Realizar el croquis en base a un plano de referencia) *Figura 9.1*

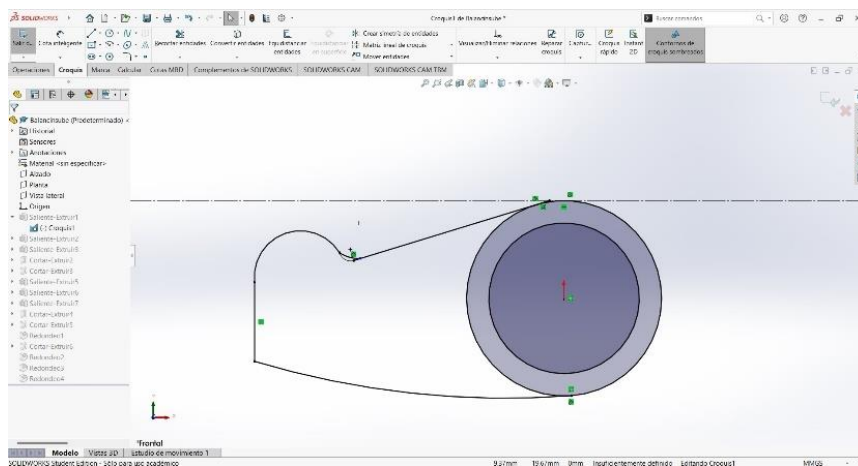


Figura 9.1. Balancín 1 (Croquis 1). Fuente: SolidWorks

- Operaciones → “Extruir saliente/base” (Seleccionar el croquis realizado excluyendo el orificio) *Figura 9.2*
  - Desde → Seleccionamos el plano desde el que se quiere extruir, en el caso presente sería “plano de croquis”
  - Dirección 1 → Del desplegable se selecciona “hasta profundidad especificada”
  - Debajo en el recuadro numérico se introduce el valor de la distancia que se desea extruir

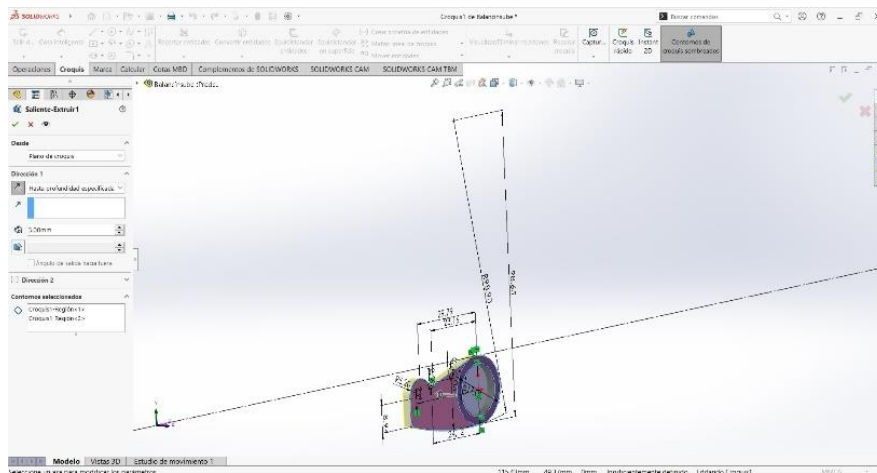


Figura 9.2. Balancín 1 (Extrusionado de Croquis 1). Fuente: SolidWorks

- Croquis → “Croquis” (Realizar el croquis en base a un plano de referencia) *Figura 9.3*
  - “Croquis” → Seleccionar las líneas del contorno pulsando ctrl+click izquierdo del ratón → “Convertir entidades”
  - “Recortar entidades” → Recortar el exceso de líneas y adoptar el contorno deseado

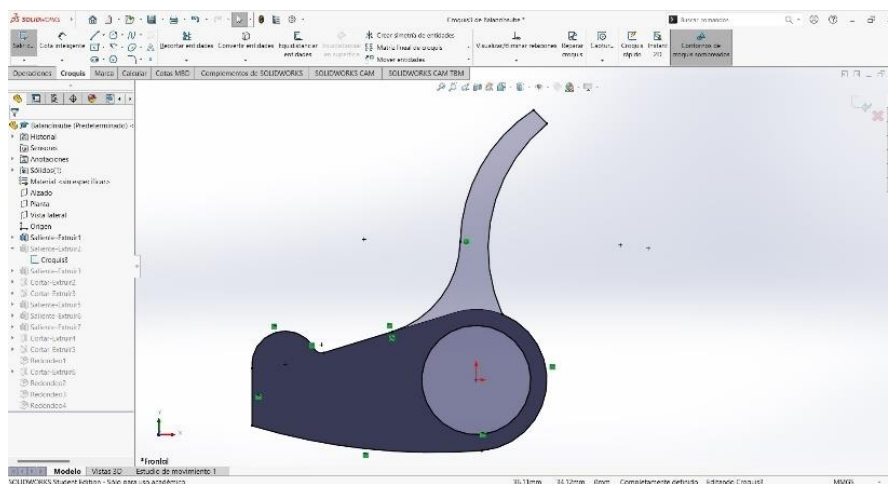


Figura 9.3. Balancín 1 (Croquis 2). Fuente: SolidWorks

- Operaciones → “Extruir saliente/base” (Seleccionar el croquis realizado excluyendo el orificio) *Figura 9.4*
  - Desde → Seleccionamos el plano desde el que se quiere extruir, en el caso presente sería “plano de croquis”
  - Dirección 1 → Del desplegable se selecciona “hasta profundidad especificada”
  - Debajo en el recuadro numérico se introduce el valor de la distancia que se desea extruir

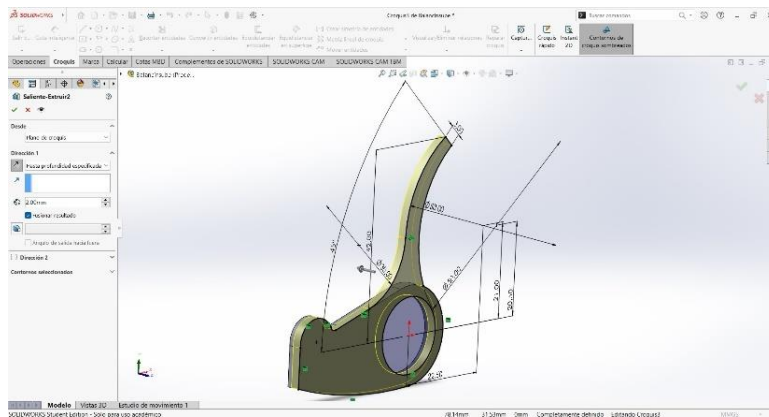


Figura 9.4. Balancín 1 (Extrusionado de Croquis 2). Fuente: SolidWorks

Se realiza el croquizado como hasta ahora se ha visto, importante que el croquis esté bien acotado, se sabrá que está bien acotado, cuando todas sus líneas estén de color negro.

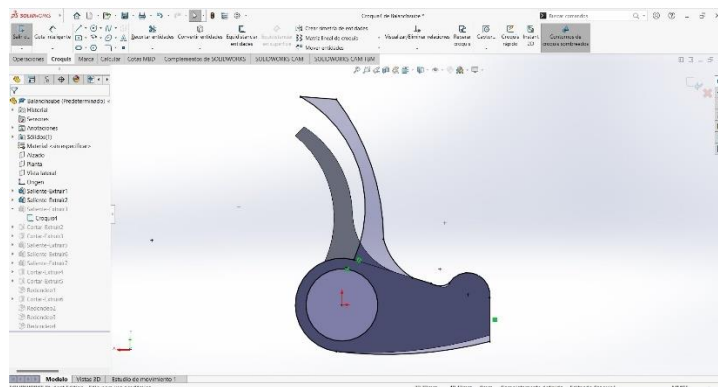


Figura 9.5. Balancín 1 (Croquis 3). Fuente: SolidWorks

Se realiza la operación de extrusión como hasta el momento se ha visto.

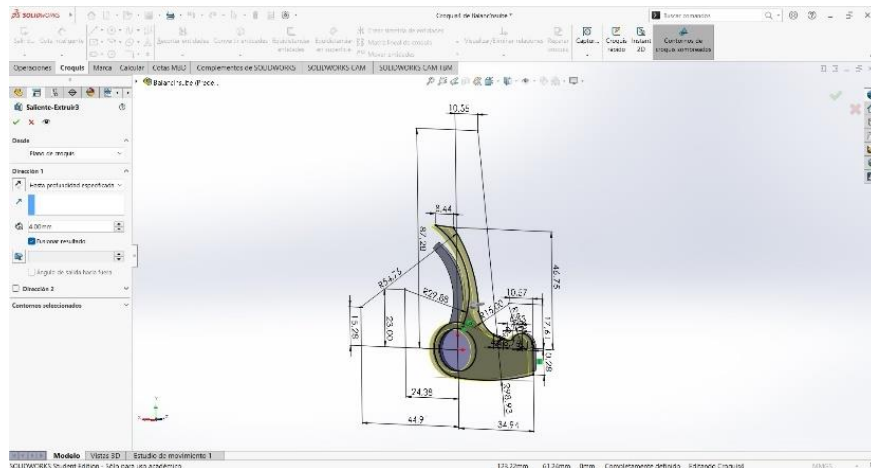


Figura 9.6. Balancín 1 (Extrusionado de Croquis 3). Fuente: SolidWorks

Realización de croquis.

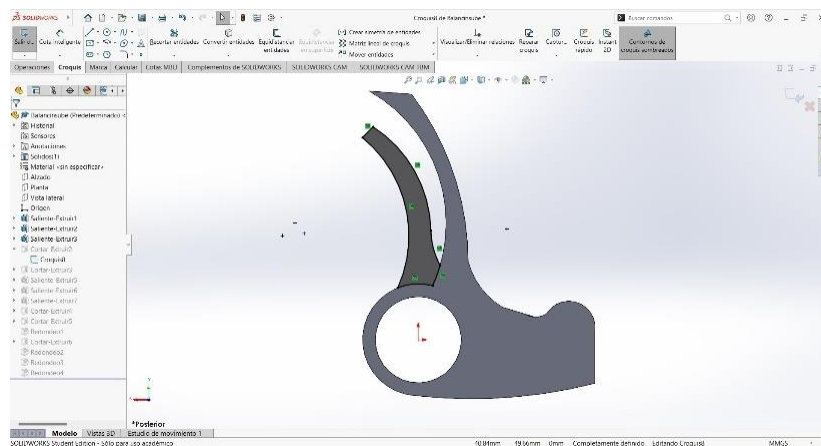


Figura 9.7. Balancín 1 (Croquis 4). Fuente: SolidWorks

- Operaciones → “Extruir corte” (Seleccionar el croquis realizado) *Figura 8.6*
  - Desde → Seleccionamos el plano desde el que se quiere extruir, en el caso presente sería “plano de croquis”
  - Dirección 1 → Del desplegable se selecciona “hasta profundidad especificada”
  - Debajo en el recuadro numérico se introduce el valor de la distancia que se desea extruir el corte

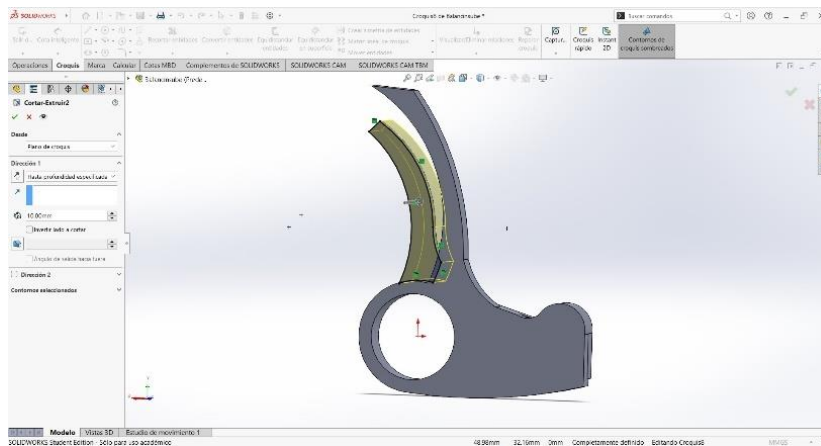


Figura 9.8. Balancín 1 (Extrusionado de corte de Croquis 4). Fuente: SolidWorks

Se realiza nuevamente el croquis.

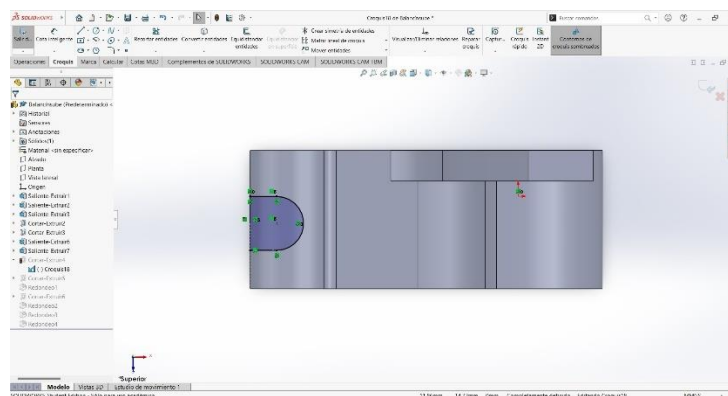


Figura 9.9. Balancín 1 (Croquis 5). Fuente: SolidWorks

- Operaciones → “Extruir corte” (Seleccionar el croquis realizado) *Figura 8.6*
  - Desde → Seleccionamos el plano desde el que se quiere extruir, en el caso presente sería “plano de croquis”
  - Dirección 1 → Del desplegable se seleccionar “hasta la superficie”
  - Clicar para activar: Dirección 2 → Del desplegable se seleccionar “hasta la superficie”

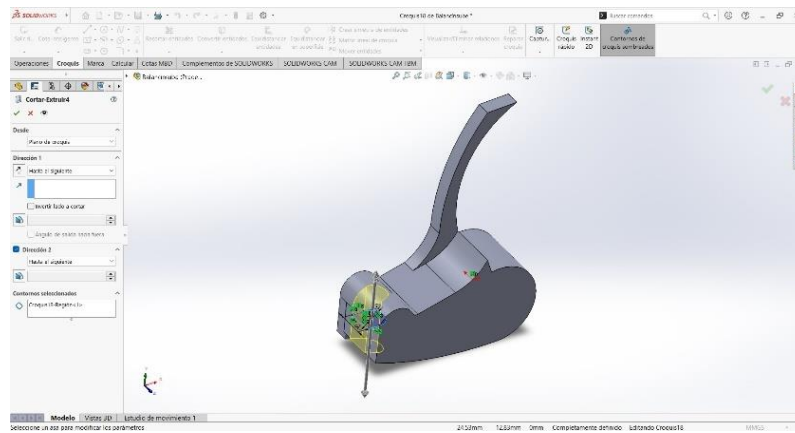


Figura 9.10. Balancín 1 (Extrusionado de corte de Croquis 5). Fuente: SolidWorks

Se realiza el croquis con el comando “convertir entidades”, aprovechando las líneas ya creadas en el contorno, para así no tener que crear líneas y acotarlas como en las operaciones anteriores.

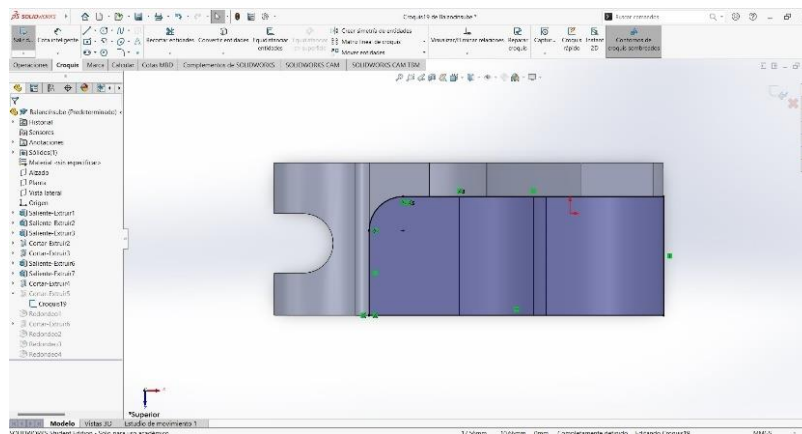


Figura 9.11. Balancín 1 (Croquis 6). Fuente: SolidWorks

Se realiza el corte como en las operaciones anteriores.

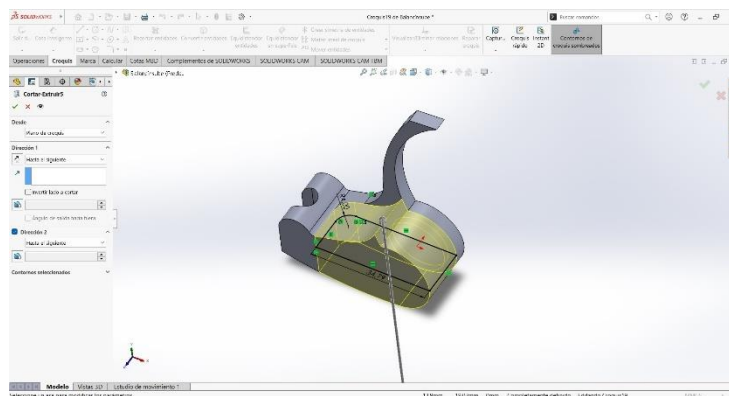


Figura 9.12. Balancín 1 (Extrusionado de corte de Croquis 6). Fuente: SolidWorks

- Operaciones → “Redondeo”
  - “Elementos para redondear” → seleccionar la esquina que se desea redondear
  - “Parámetros de redondeo” → Se escribe dentro del cuadro el radio deseado del redondeo

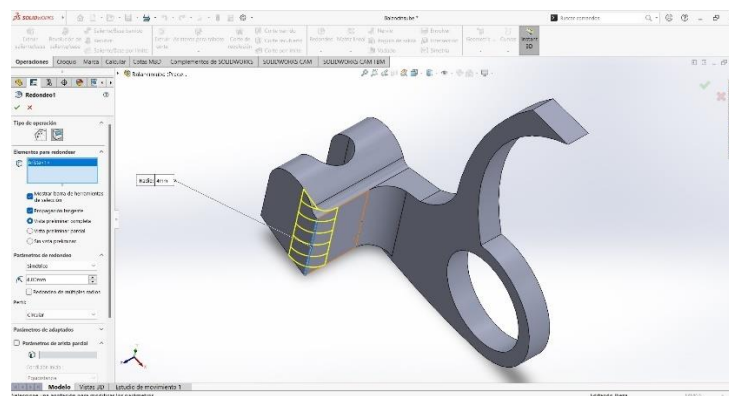


Figura 9.13. Balancín 1 (Redondeo 1). Fuente: SolidWorks

El siguiente croquis se ha elaborado para eliminar material y darle una geometría más parecida a la pieza final deseada.

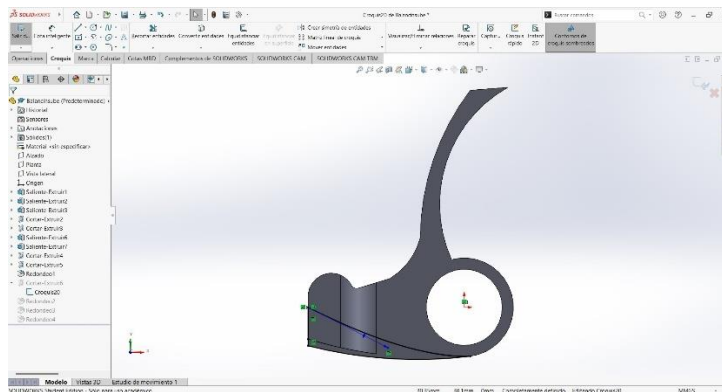


Figura 9.14. Balancín 1 (Croquis 7). Fuente: SolidWorks

Operación de extrusión de corte usando el croquis anterior.

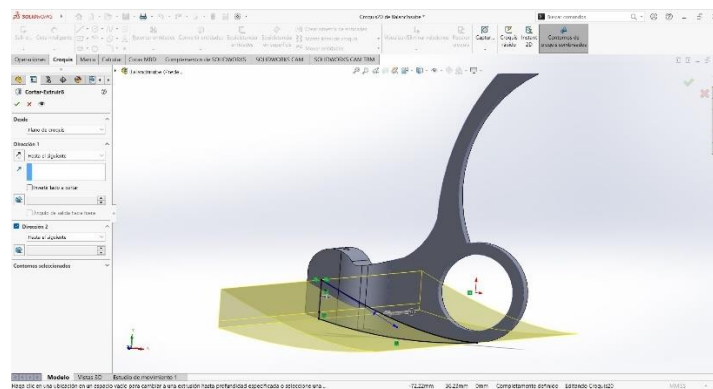


Figura 9.15. Balancín 1 (Extrusionado de corte de Croquis 7). Fuente: SolidWorks

Las siguientes operaciones son redondeos para darle una forma más atractiva y cercana a la deseada, las operaciones de redondeo se han explicado anteriormente.

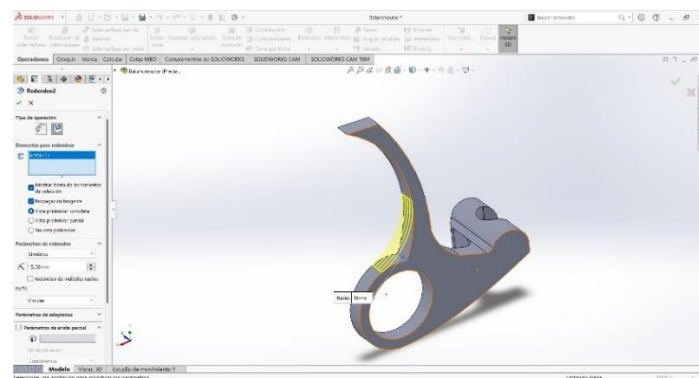


Figura 9.16. Balancín 1 (Redondeo 2). Fuente: SolidWorks

Resultado final.

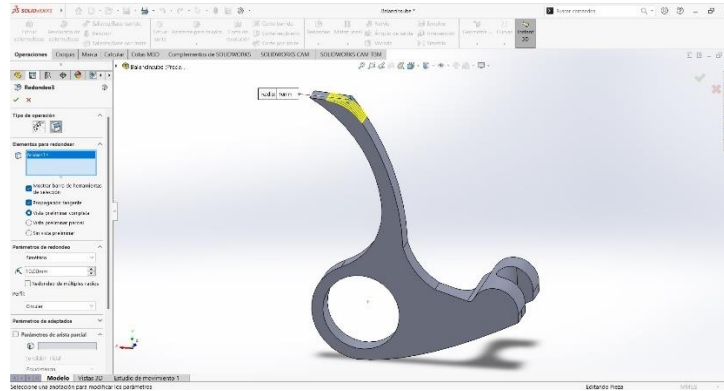


Figura 9.17. Balancín 1 (Redondeo 3). Fuente: SolidWorks

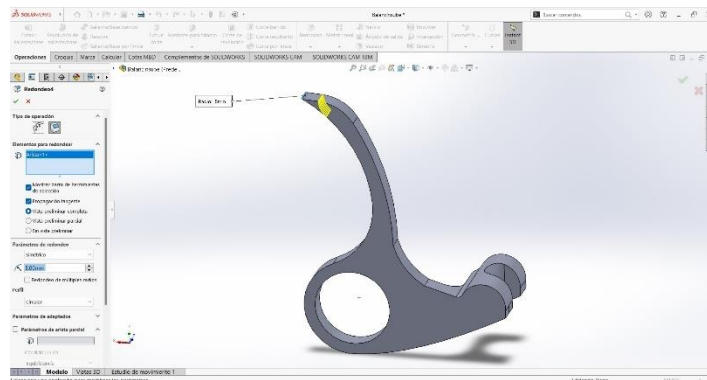


Figura 9.18. Balancín 1 (Redondeo 4). Fuente: SolidWorks

Por último, se obtiene la pieza final.

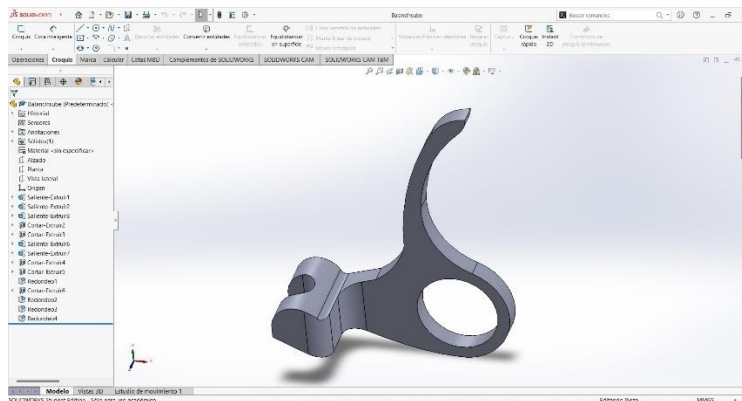


Figura 9.19. Balancín 1 (Resultado final). Fuente: SolidWorks

## Elaboración de piñón junto a ejes principales:

En la siguiente pieza se ha unificado dos en una, para disminuir la carga de memoria del programa y así poder procesar mejor la pieza y el ensamblaje como al principio se comentó.

Las dos piezas, tanto el piñón como el eje principal son piezas de revolución, por ello se ha podido elaborar la pieza en dos pasos:

- Croquizado
- Extrusión por revolución

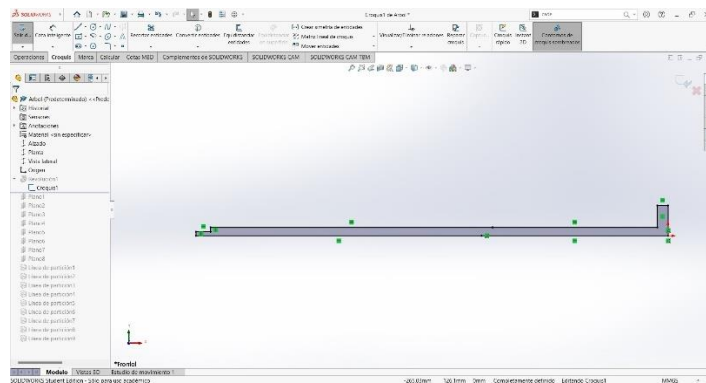


Figura 10.1. Eje 1 (Croquis 1). Fuente: SolidWorks

- Operaciones → “Revolución de saliente/base” *Figura 10.2*
  - o Seleccionar eje de revolución.
  - o Dirección 1: hasta la profundidad especificada y escribir debajo 360°

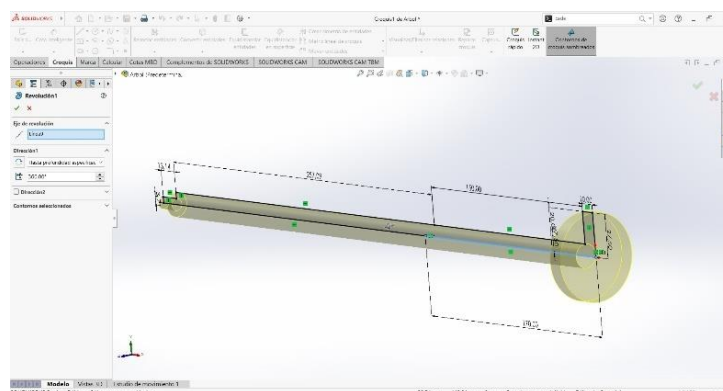


Figura 10.2. Eje 1 (Extrusión por revolución de croquis 1). Fuente: SolidWorks

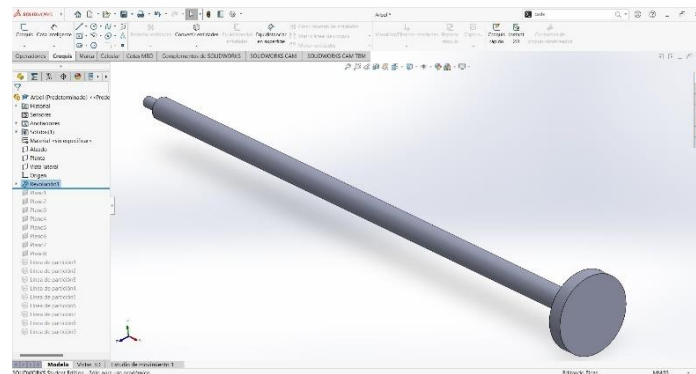


Figura 10.3. Eje 1 (Resultado final). Fuente: SolidWorks

## Elaboración del Soporte:

Este elemento es importante para la parte de ensamblaje ya que es el elemento principal del cual se sujetarán los ejes del mecanismo.

Pasos:

- Croquis → “Croquis” (Realizar el croquis en base a un plano de referencia) *Figura 11.1*

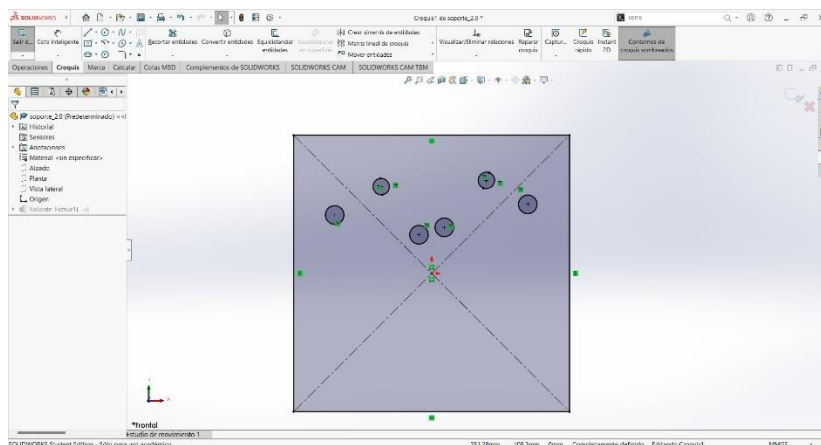


Figura 11.1. Soporte (Croquis). Fuente: SolidWorks

- Operaciones → “Extruir saliente/base” (Seleccionar el croquis realizado excluyendo el orificio) *Figura 11.2*
  - o Desde → Seleccionamos el plano desde el que se quiere extruir, en el caso presente sería “plano de croquis”
  - o Dirección 1 → Del desplegable se selecciona “hasta profundidad especificada”
  - o Debajo en el recuadro numérico se introduce el valor de la distancia que se desea extruir

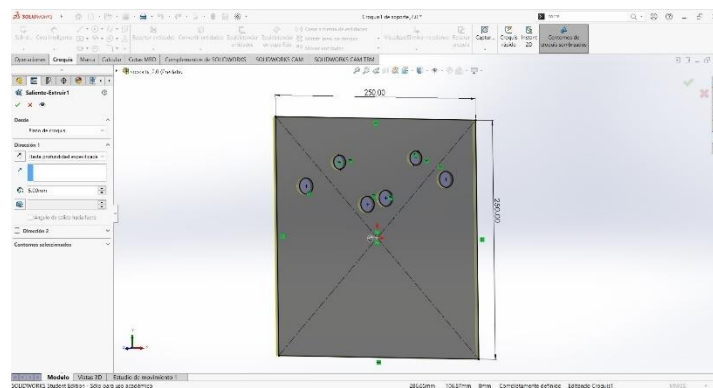


Figura 11.2. Soporte (Extrusionado). Fuente: SolidWorks

Resultado final.

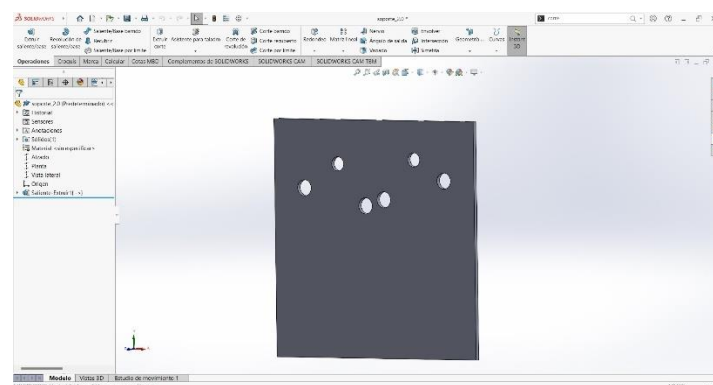


Figura 11.3. Soporte (Resultado final). Fuente: SolidWorks

La correa del mecanismo se ha detallado como se hace, al final del siguiente punto “Ensamblaje”.

## Ensamblaje

Nota: Para el ensamblaje del conjunto se han utilizado relaciones de posición, dado que son operaciones muy repetitivas se explicará con figuras, una vez cada operación.

### Pieza “Soporte”:

Pasos:

- Operaciones → “Insertar componente” (Insertar un soporte donde fijar los elementos posteriores).
  - Al ser el primer elemento que se inserta, se queda fijado en el espacio, en el caso que se quiera fijar o soltar.
    - Clic botón derecho del ratón → Dar a fijar o flotar en el caso que se quiera soltar el elemento.

Es aconsejable que se ubique coincidente a los planos preestablecidos por el programa, para tener las vistas principales orientadas, se realizará de la siguiente forma:

- Clic derecho sobre la pieza, en la ventana que se despliega pulsar “flotar”.

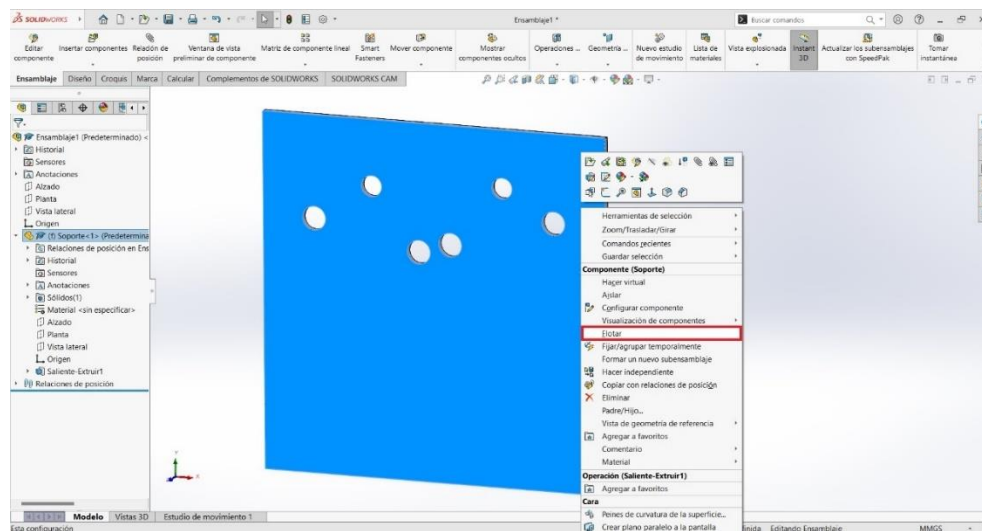


Figura 12.1. Soporte (Paso “flotar”). Fuente: SolidWorks

A continuación, seguir los siguientes pasos, para orientar la pieza a los planos preestablecidos por el programa:

- Ensamblaje → Relación de posición → Seleccionar cara y plano → Seleccionar “Coincidente”.
- Validar operación.

Repetir este paso, para hacer coincidir las dos caras restantes a sus planos deseados, una vez realizado este proceso nuestro conjunto estará orientado.

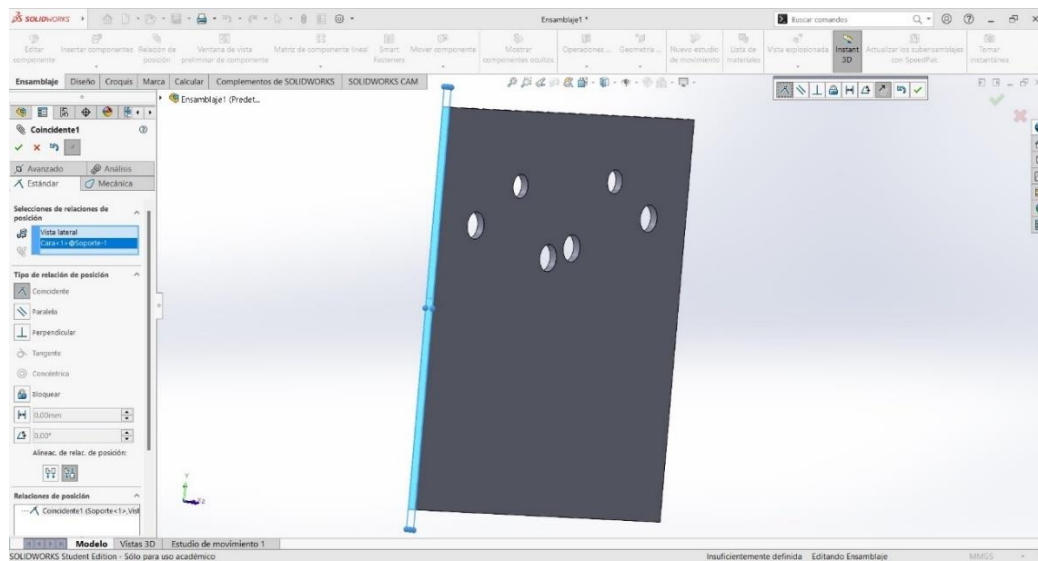


Figura 12.1. Soporte (Paso “Relación Coincidente”). Fuente: SolidWorks

### **Pieza “Eje 1”:**

Para el ensamblaje de este elemento se necesitará fijarlo en el espacio a elemento soporte. Se realizan los siguientes pasos para cada “Eje 1”.

Pasos:

- Ensamblaje → “Insertar componente” (se insertará la pieza “Eje 1”).
- Ensamblaje → Relación de posición → Seleccionar la zona cilíndrica del “Eje 1” y la zona cilíndrica del agujero del “Soporte” → Seleccionar “Concéntrica”.
- Validar operación.

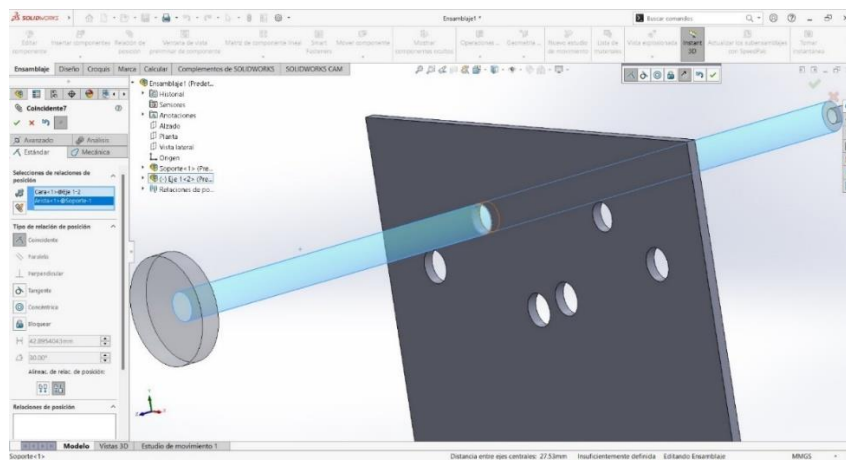


Figura 13.1. Eje 1 (Paso “Relación Concentrica”). Fuente: SolidWorks

Para el siguiente paso se necesita una línea de partición, antes se deslizará manualmente la pieza, aproximadamente hasta la posición, como la siguiente imagen.

- Seleccionar pieza → botón derecho → editar pieza.
  - Operaciones → Curvas → Línea de partición.
    - Tipo de partición → Intersección.
    - Selecciones → En el recuadro rosa, seleccionar el plano de corte y en el cuadro azul, seleccionar la superficie que interseca dicho plano.
    - Se valida la operación.
  - Salir de editar pieza clicando sobre el dibujo en la parte superior derecha.

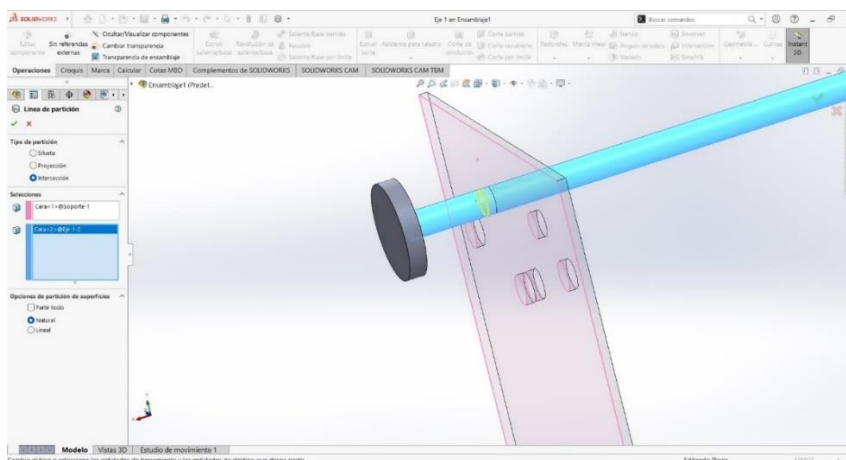


Figura 13.2. Eje 1 (Paso Crear “línea de partición”). Fuente: SolidWorks

- Ensamblaje → Relación de posición → Seleccionar la zona la línea circunferencia del hueco, perteneciente a la pieza “Soporte”, seguidamente seleccionar la línea de partición → Seleccionar “Coincidente”.
- Validar operación.

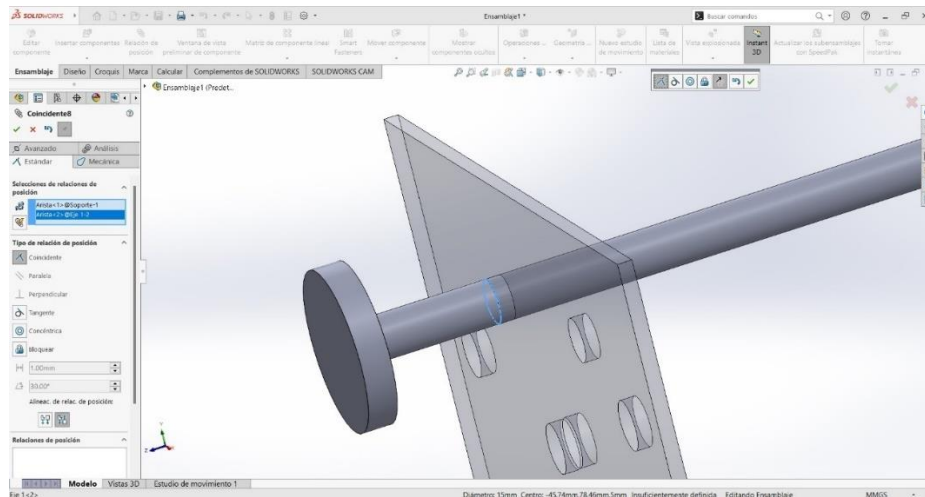


Figura 13.3. Eje 1 (Paso “Relación Coincidente”). Fuente: SolidWorks

### Pieza “Eje 2”:

La siguiente operación se aplica, cuando se quiere poner dos caras en paralelo, muy importante, para que la operación funcione la pieza ambas piezas deben de estar fijas ya sea en por “relación de contacto” o porque este fijada en el espacio. Se realizan los siguientes pasos para cada “Eje 2”.

Pasos:

- Ensamblaje → “Insertar componente” (se insertará la pieza “Eje 2”).
- Ensamblaje → Relación de posición → Seleccionar las dos superficies que se quieren situar en paralelo → Seleccionar “Coincidente”.
- Validar operación.

Nota: La pieza “Eje 2” está fijada al “Soporte” con las mismas operaciones que se han aplicado en la ubicación de “Eje 1”.

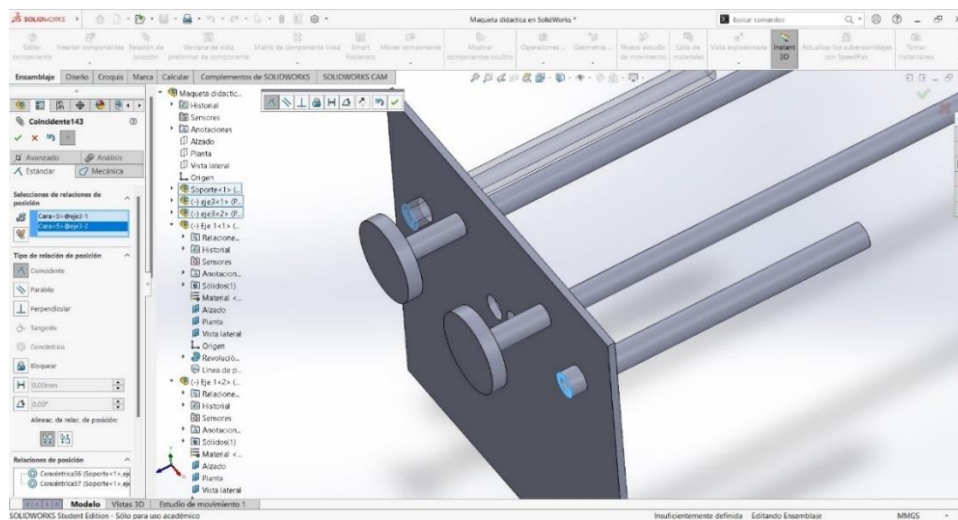


Figura 14.1. Eje 2 (Paso piezas paralelas). Fuente: SolidWorks

### Ocultar “Soporte”:

Se ocultará el “Soporte” para tener una visión más limpia de la maqueta, este elemento es de vital importancia, ya que sin el sería imposible fijar en el espacio la maqueta.

Pasos:

- Buscar en el Eje 1 de la izquierda de la pantalla el elemento “Soporte” → Hacer clic con botón derecho del ratón sobre el nombre de la pieza → Seleccionar “Ocultar componente”.

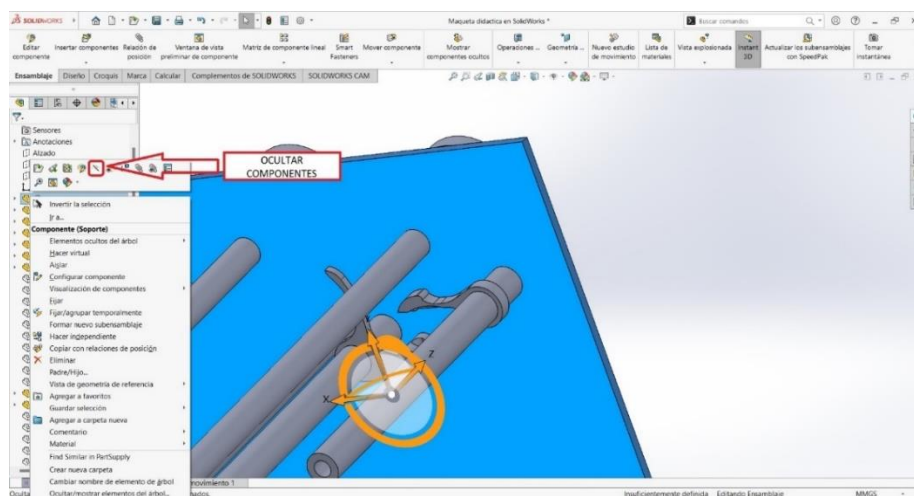


Figura 15.1. Soporte (Paso “Ocultar”). Fuente: SolidWorks



### **Piezas “Balancín 1” y “Balancín 2”:**

Para la colocación de los balancines se tendrá que realizar líneas de partición en “Eje 2”, previamente a utilizar las relaciones de posición. Se realizan los siguientes pasos para cada balancín.

#### **Pasos:**

- Ensamblaje → “Insertar componente” (se insertará la pieza “Balancín 1 y Balancín 2”).
- Seleccionar pieza → botón derecho → editar pieza.
  - Operaciones → Curvas → Línea de partición.
    - Tipo de partición → Intersección.
    - Selecciones → En el recuadro rosa, seleccionar el plano de corte y en el cuadro azul, seleccionar la superficie que interseca dicho plano.
    - Se valida la operación.
  - Salir de editar pieza clicando sobre el dibujo en la parte superior derecha.
- Ensamblaje → Relación de posición → Seleccionar la zona cilíndrica del “Balancín” y seguidamente la línea de corte → Seleccionar “Concéntrica”.
- Validar operación.
- Ensamblaje → Relación de posición → Seleccionar la zona cilíndrica del “Balancín” y seguidamente la línea de corte → Seleccionar “Coincidente”.
- Validar operación.

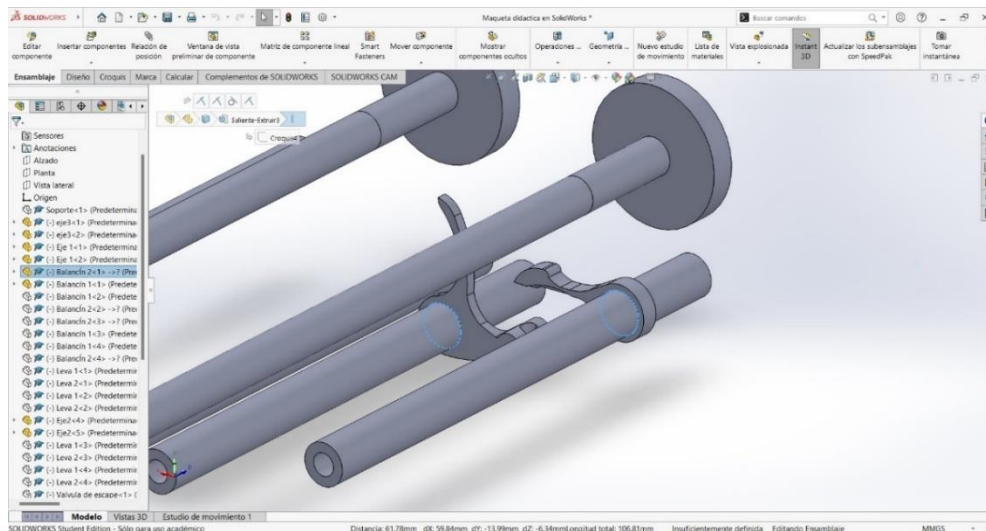


Figura 16.1. Ubicación de Balançín 1 y Balançín 2. Fuente: SolidWorks

### Piezas “Leva 1” y “Leva 2”:

Para la colocación de las levas se tendrá que realizar líneas de partición en “Eje 1” previamente a utilizar las relaciones de posición. Se realizan los siguientes pasos para cada leva.

Pasos:

- Ensamblaje → “Insertar componente” (se insertará la pieza “Leva 1 y Leva 2”).
- Seleccionar pieza → botón derecho → editar pieza.
  - Operaciones → Curvas → Línea de partición.
    - Tipo de partición → Intersección.
    - Selecciones → En el recuadro rosa, seleccionar el plano de corte y en el cuadro azul, seleccionar la superficie que interseca dicho plano.
    - Se valida la operación.
  - Salir de editar pieza clicando sobre el dibujo en la parte superior derecha.
- Ensamblaje → Relación de posición → Seleccionar la zona cilíndrica de la “Leva” y seguidamente la línea de corte → Seleccionar “Concéntrica”.
- Validar operación.
- Se desplaza la leva manualmente o de forma automática a su posición deseada, como se ha indicado anteriormente.

- Ensamblaje → Relación de posición → Seleccionar la zona cilíndrica de la “Leva” y seguidamente la línea de corte → Seleccionar “Coincidente”.
- Validar operación.

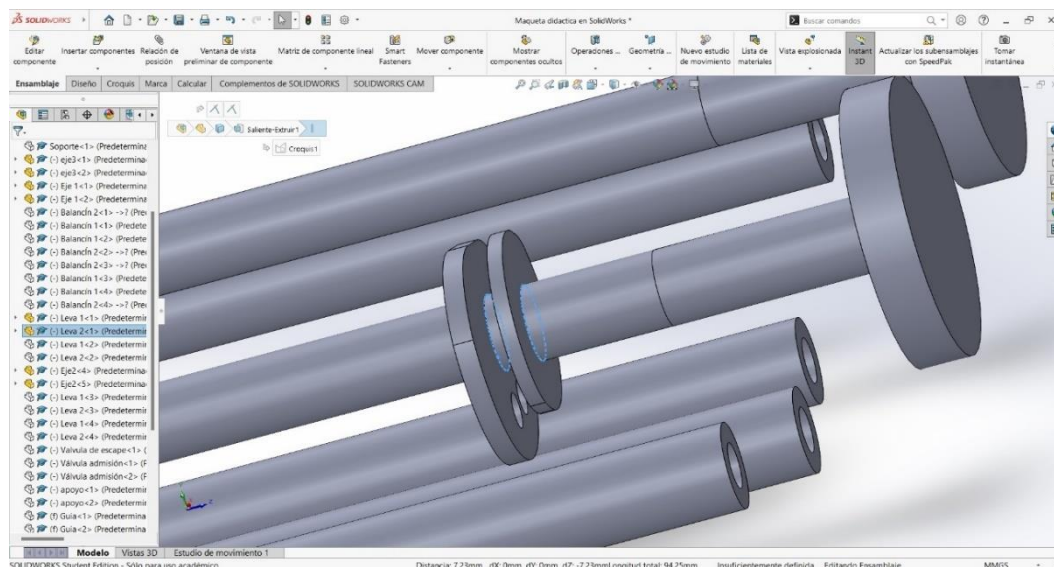


Figura 17.1. Ubicación de Leva 1 y Leva 2. Fuente: SolidWorks

### **Piezas “Válvula de admisión” y “Válvula de escape”:**

Se realizan los siguientes pasos para cada leva.

Pasos:

- Ensamblaje → “Insertar componente” (se insertará la pieza “Válvula de escape y Válvula de admisión”).
- Ensamblaje → Mover componente (botón inferior, flecha hacia abajo) → Girar componente.
  - o Girar → Por delta XYZ.
  - o En Delta Z poner numéricamente los grados que se quiere girar la pieza.
  - o Seleccionar la pieza a girar.
  - o Aplicar.

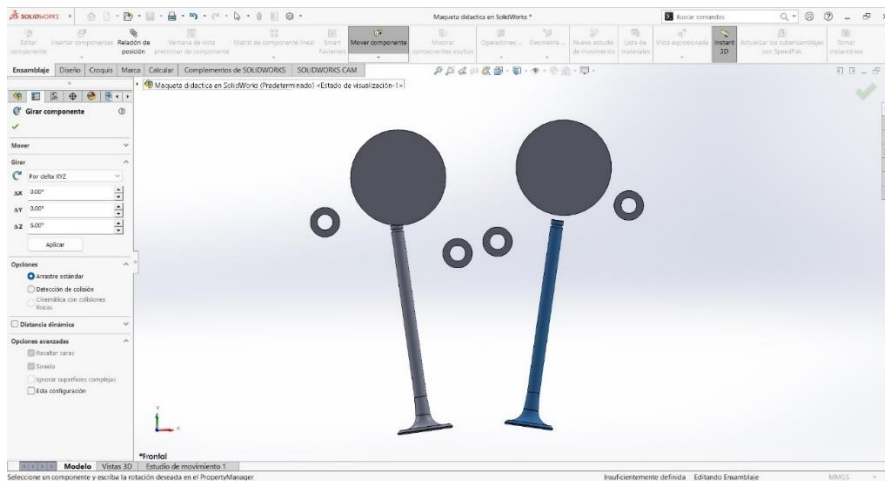


Figura 18.1. Válvula de escape y Válvula de admisión (Paso ángulo de inclinación). Fuente: SolidWorks

Para posicionar la válvula se ha utilizado la siguiente relación de posición:

- Ensamblaje → Relación de posición → Parte cilíndrica de la válvula y semicírculo interior del agarre del balancín 1 → Seleccionar tangente

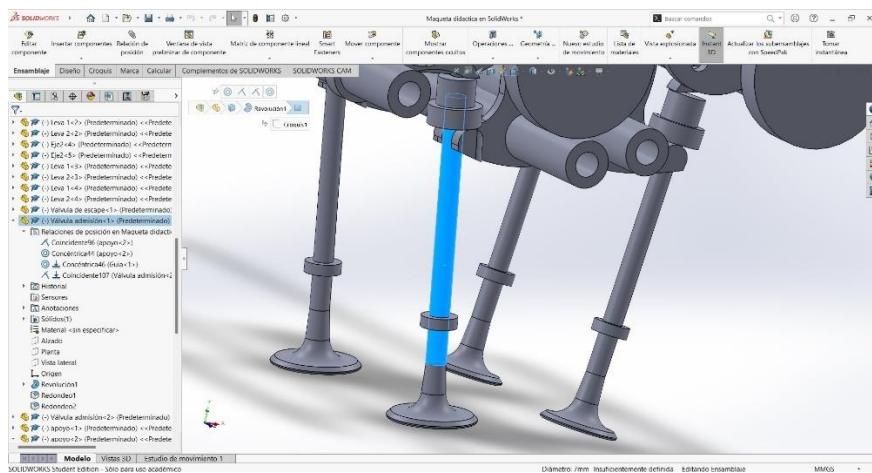


Figura 18.2. Válvula de escape y Válvula de admisión (“Relación Tangente”). Fuente: SolidWorks

## Pieza “Taqué”:

Para la ubicación de los taqués se realizan los siguientes pasos para cada uno por independiente.

Pasos:

- Ensamblaje → “Insertar componente” (se insertará la pieza “Taqué”)
- Ensamblaje → Relación de posición → Seleccionar la zona cilíndrica del “Taqué” y seguidamente la zona cilíndrica de la válvula → Seleccionar “Concéntrica”
- Validar operación
- Ensamblaje → Relación de posición → Seleccionar la superficie plana del interior del “Taqué” y seguidamente seleccionar la superficie plana superior de la válvula → Seleccionar “Coincidente”
- Validar operación

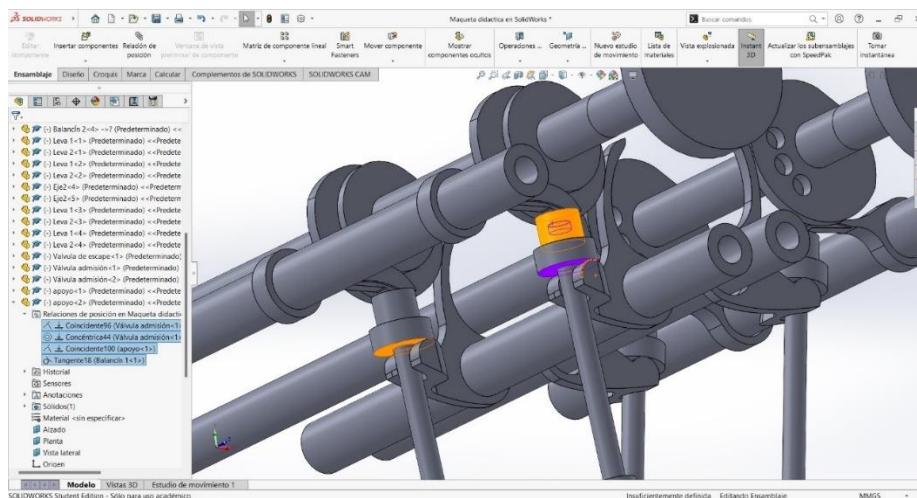


Figura 19.1. Operaciones para la ubicación de Taqué. Fuente: SolidWorks

## Piezas “Guía”:

Se realizan los siguientes pasos para cada “Guía”.

Pasos:

- Ensamblaje → “Insertar componente” (se insertará la pieza “Guía”).
- Ensamblaje → Relación de posición → Seleccionar la zona cilíndrica de la “Guía” y seguidamente la zona cilíndrica de la válvula → Seleccionar “Concéntrica”.
- Validar operación.
- Se desplaza de forma manual o automática a la altura deseada → Se fija la guía en el espacio.
- Validar operación.

Nota: Las demás guías se colocan a la misma altura con la operación coincidente como se explicó anteriormente en Eje 2 (como poner en paralelo dos piezas).

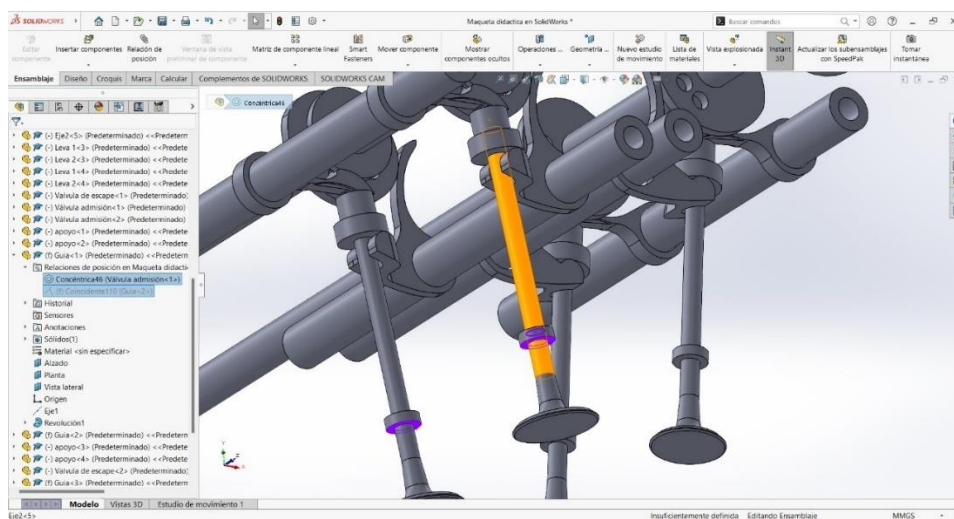


Figura 20.1. Operaciones para la ubicación de Guía. Fuente: SolidWorks

## Crear “Correa”:

Para la elaboración de la correa, SolidWorks tiene un comando para crear una correa “ficticia”, no se ve con detalle que es una correa, pero sí la define con forma y efectos en el ensamblaje.

Pasos:

- Ensamblaje → Geometría de referencia → Correa/Cadena.
  - o Miembros de correa → Seleccionar las superficies de contacto de la correa
- Validar operación

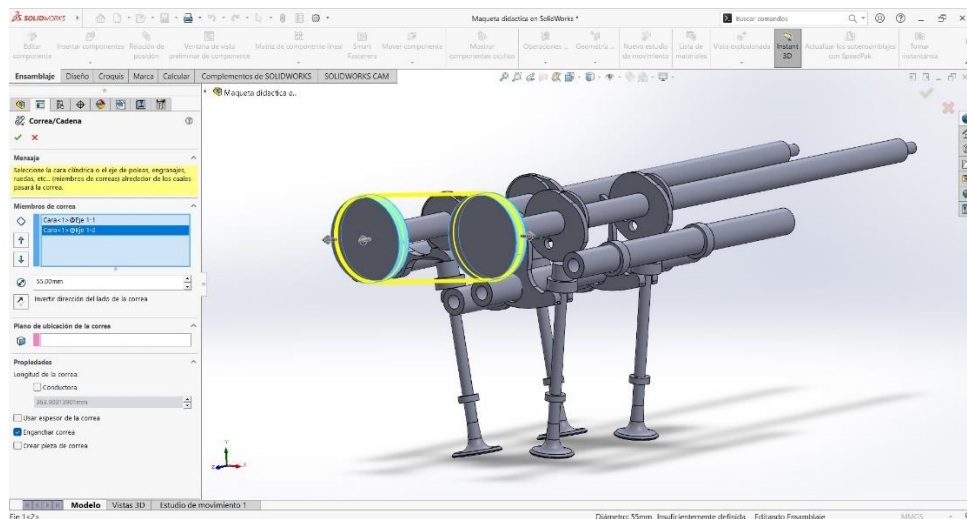


Figura 21.1. Crear correa. Fuente: SolidWorks

## 14. Explosionado del sistema Desmosdrómico en SolidWorks

A continuación, se detallarán los pasos que se han aplicado en el explosionado del conjunto, se va a dividir el explosionado en tres pasos hasta su resultado final.

Pasos:

- Ensamblaje → Vista explosionada.
  - o En “explosionar nombre de paso” se indica el nombre del proceso que se va a realizar.
  - o Se procede a seleccionar componentes del paso de explosión: levas y balancines de la “parte izquierda” (observar imagen 21.1), cuando se van seleccionando, adquieren color azul.

- Hacer clic con el botón izquierdo en la flecha de color naranja, orientada en “Eje Z” y arrastrar hacia la izquierda hasta conseguir una distancia deseada para el primer paso del explosionado
- Si alguna pieza ha quedado a una distancia no deseada se puede ajustar su distancia de forma manual o automática
  - Manual: Presiona escape tras la última operación, seleccionar la pieza que se desea desplazar, aparecerá una flecha de color rosa con la cual se podrá desplazar dicha pieza, hacer clic sobre “listo”
  - Automática: Presiona escape tras la última operación, seleccionar la pieza que se desea desplazar, escribir en distancia de explosión la distancia deseada, hacer clic sobre “listo”
- Agregar paso

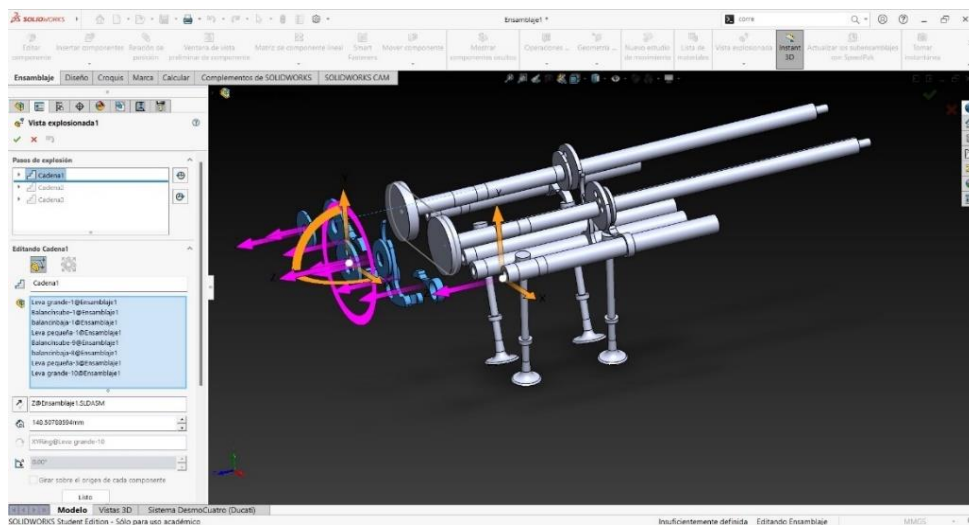


Figura 21.1. Paso 1 para el explosionado. Fuente: SolidWorks

Para realizar el segundo paso del explosionado se repite el paso anterior de la siguiente forma:

- Seleccionar componentes del paso de explosión: levas y balancines de la “parte derecha”
- Hacer clic con el botón izquierdo en la flecha de color naranja, orientada en “Eje Z” y arrastrar hacia la derecha hasta conseguir una distancia deseada para el primer paso del explosionado
- Agregar paso

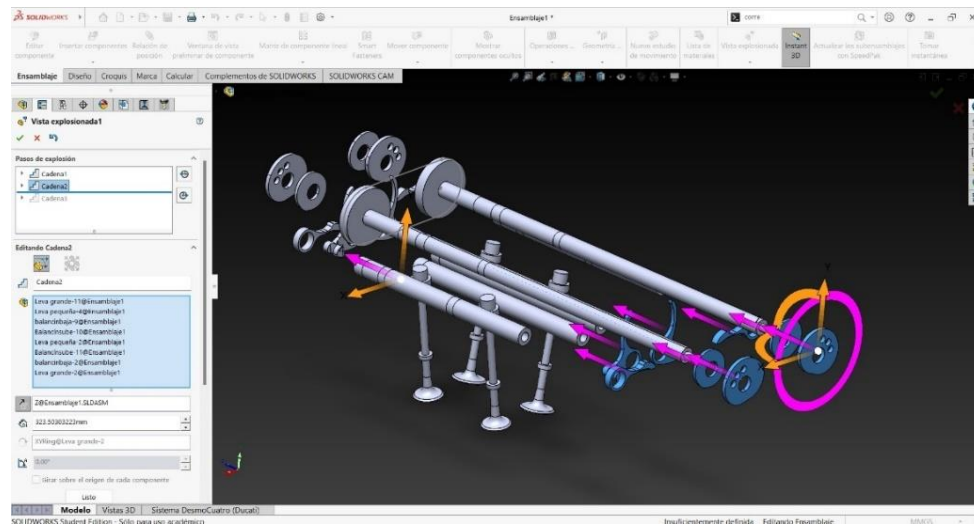


Figura 21.2. Paso 2 para el explotado. Fuente: SolidWorks

El último proceso del explotado se realizará siguiendo los mismos pasos que en los demás subexplotados. En cambio, las piezas se desplazarán respecto al “Eje Y”: “Guía”, válvulas de admisión y válvulas de escape, como se puede observar en la siguiente imagen.

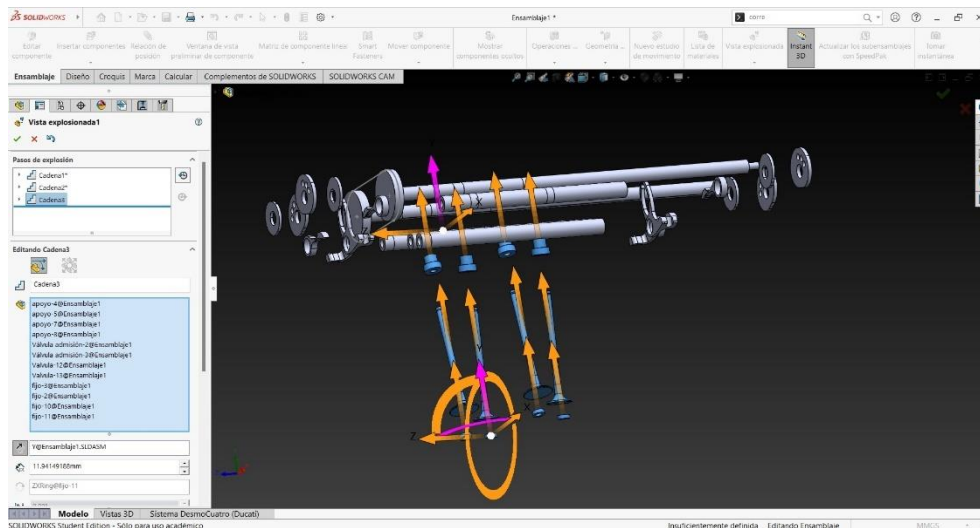


Figura 21.3. Paso 3 para el explotado. Fuente: SolidWorks

Finalmente se obtiene el siguiente explosionado.

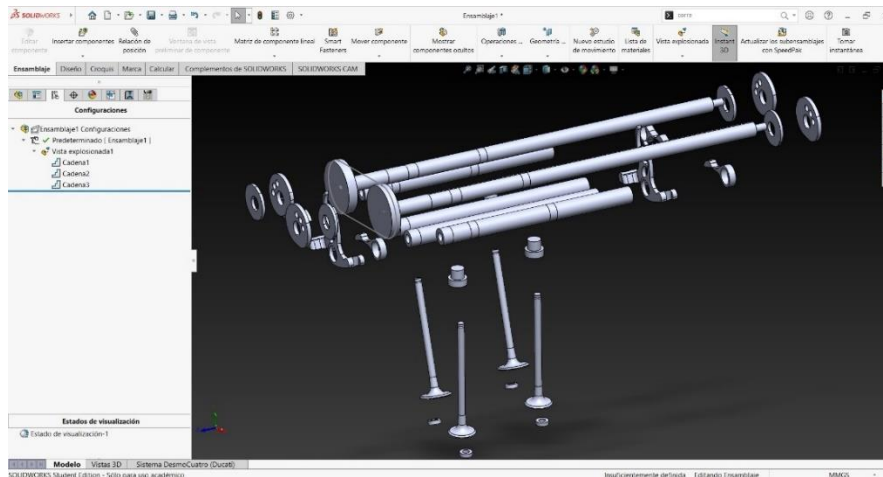


Figura 22.1. Resultado final del Explosionado. Fuente: SolidWorks

## 15. Puesta en movimiento y elaboración de vídeos de su funcionamiento y explosionado del sistema Desmódromo en SolidWorks

Este apartado se destinará a la muestra de los procesos realizados para la elaboración de los vídeos, tanto la puesta en movimiento como el explosionado.

En una primera instancia, se debe crear un nuevo estudio de movimiento y activar el complemento de SolidWorks: “SOLIDWORKS Motion”, como se puede observar en la siguiente imagen. A continuación, se selecciona en la ventana de la parte inferior izquierda, “Análisis de movimiento”.

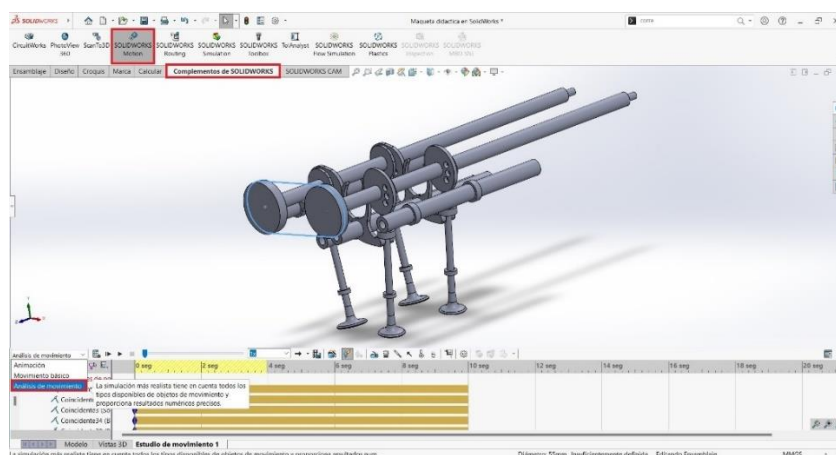


Figura 23.1. Activación de complementos del programa. Fuente: SolidWorks

Para la simulación del movimiento del motor en el Eje 1, se va a activar un “motor virtual” de la siguiente forma: clicar sobre Motor rotativo como se puede ver en la siguiente imagen.

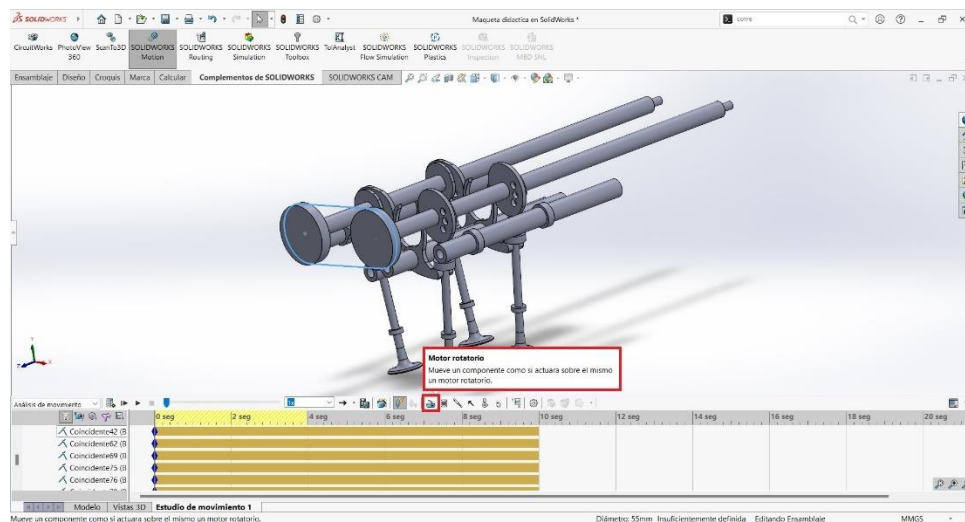


Figura 23.2. Motor de maqueta. Fuente: SolidWorks

En la parte inferior de la ventana de la izquierda, se introduce la velocidad de giro del motor. Seguidamente, se selecciona el elemento al que se quiere conectar el motor. En este caso, gracias a la correa, el Eje 1 compañero se mueve.

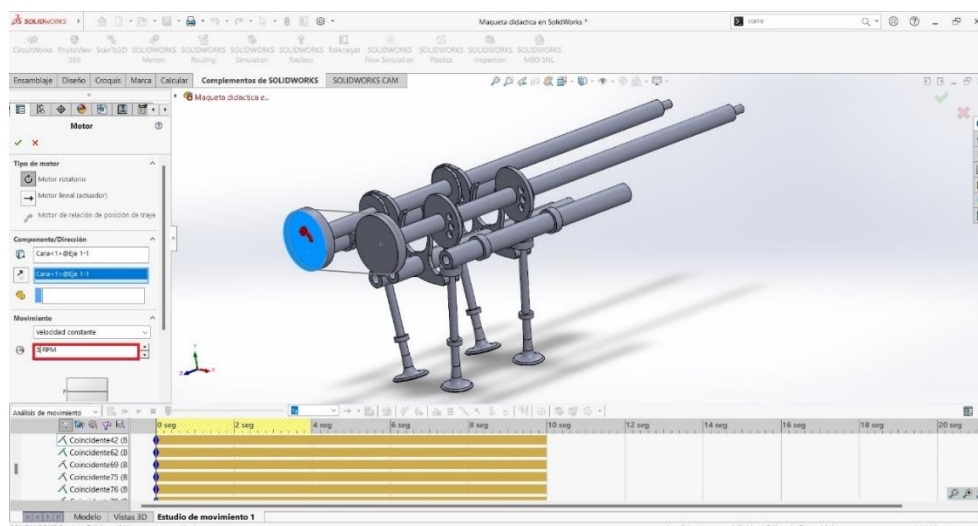


Figura 23.3. Características del motor. Fuente: SolidWorks

Para poder observar el movimiento, se ha de simular el conjunto seleccionando el botón calcular.

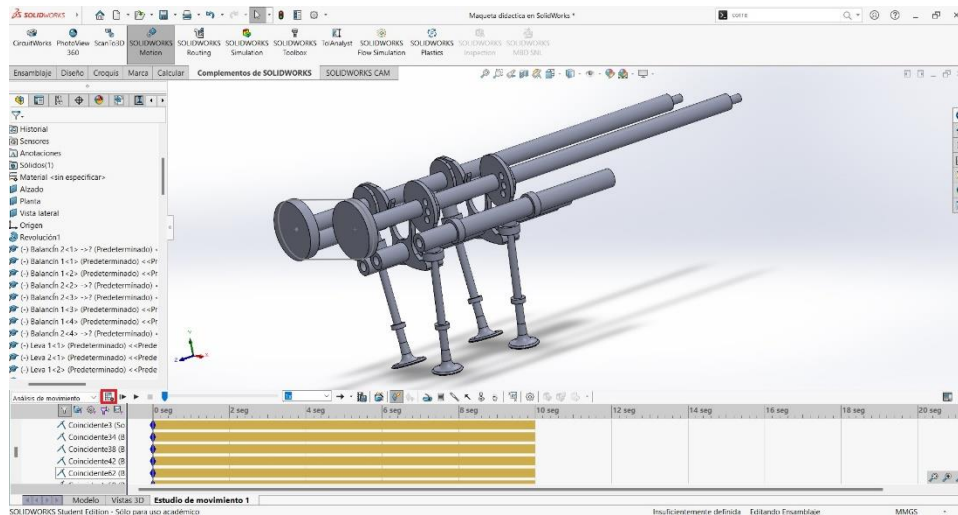


Figura 23.4. Simulación de funcionamiento. Fuente: SolidWorks

Para crear el vídeo, se ha de seleccionar el botón “guardar animación”.

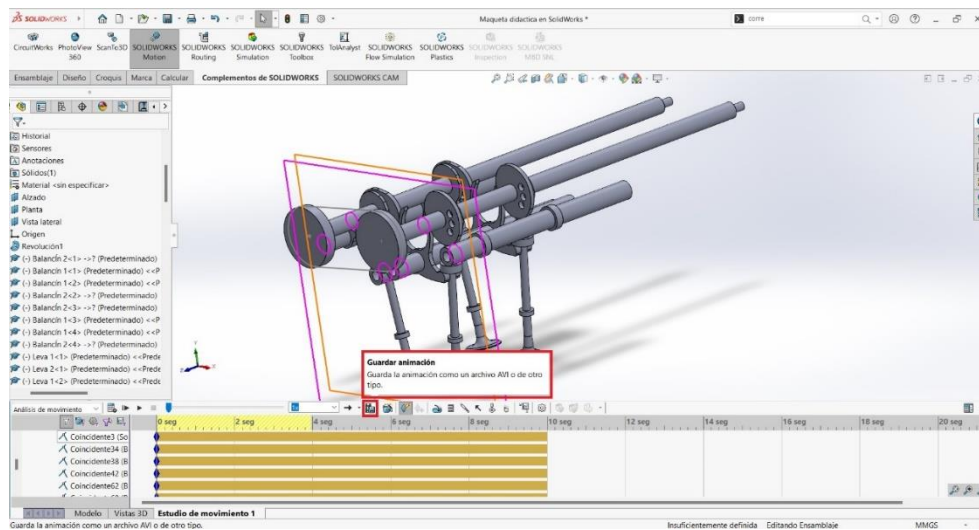


Figura 23.5. Video de la puesta en marcha. Fuente: SolidWorks

Seleccionar la carpeta en la que se desea guardar el vídeo.

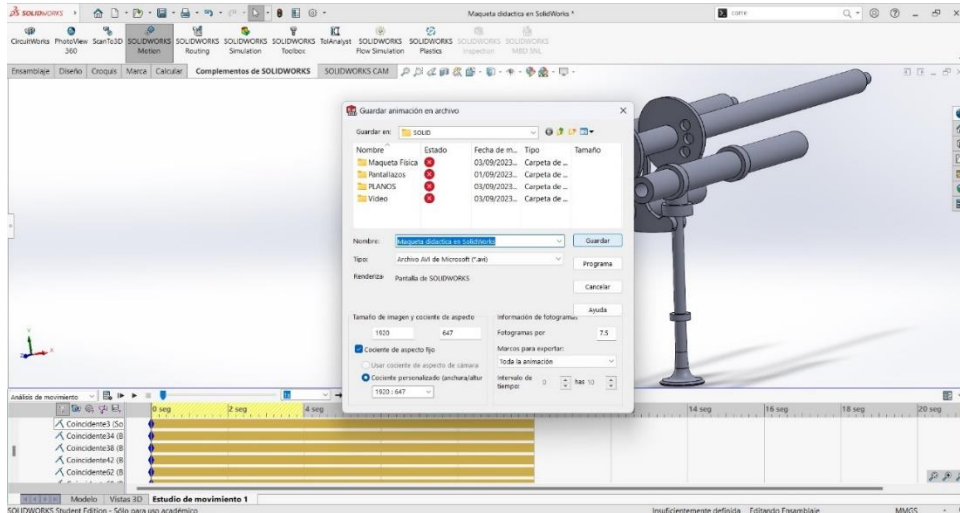


Figura 23.6. Salvar video. Fuente: SolidWorks

Se selecciona el tipo de compresión de vídeo y, seguidamente, se selecciona “aceptar”.

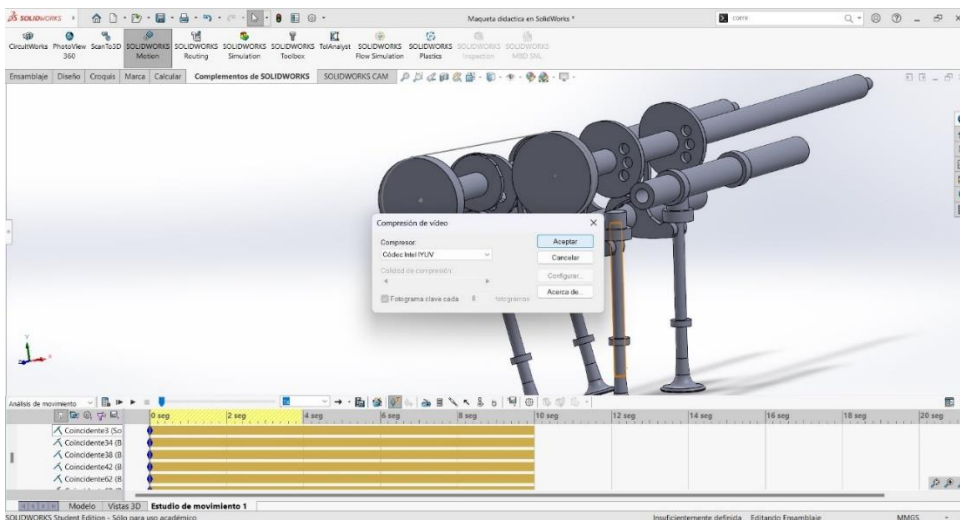


Figura 23.7. Compresión del video. Fuente: SolidWorks

Para la realización del vídeo del explosionado, previamente se ha llevado a cabo la creación del explosionado. En la ventana “configuraciones”, se clic en el botón derecho del ratón sobre la operación “explosionado” y se selecciona “explosionado animación”.

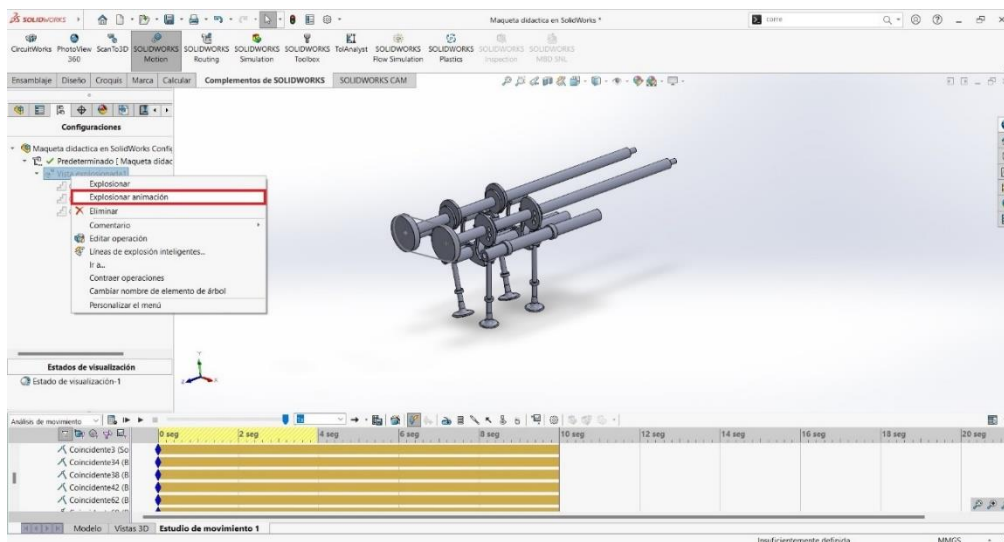


Figura 23.8. Explosionar animación. Fuente: SolidWorks

Clicar sobre la ventana flotante en “reproducción alternativa” y “reproducción lenta”.

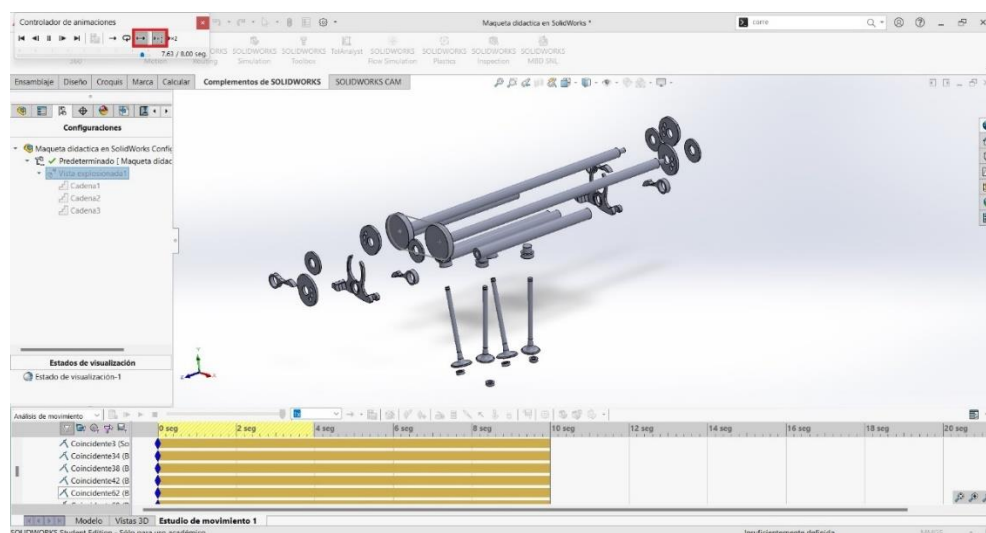


Figura 23.9. Configuración de video. Fuente: SolidWorks

Seleccionar en el lugar en el que se desea guardar el vídeo del explosionado.

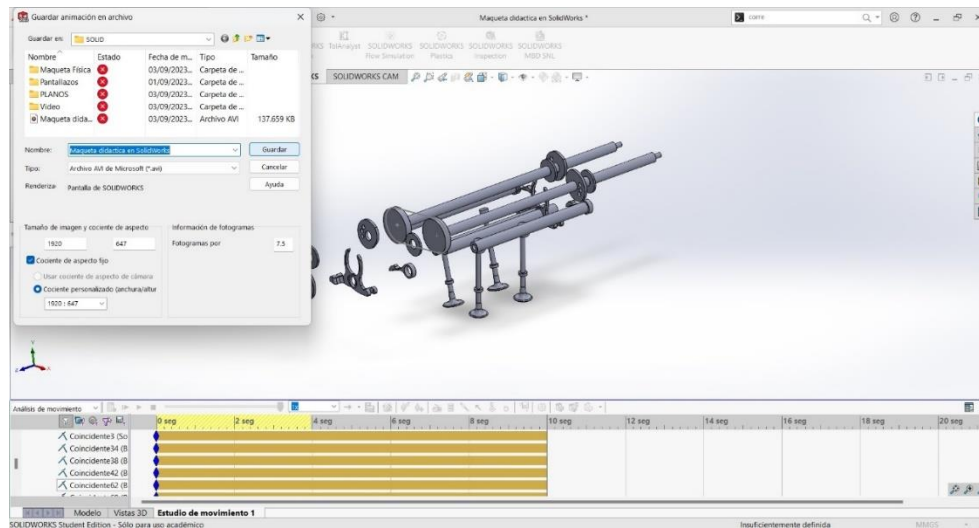


Figura 23.10. Salvar video de Explosionado. Fuente: SolidWorks

Seleccionar tipo de compresión de vídeo, aceptar.

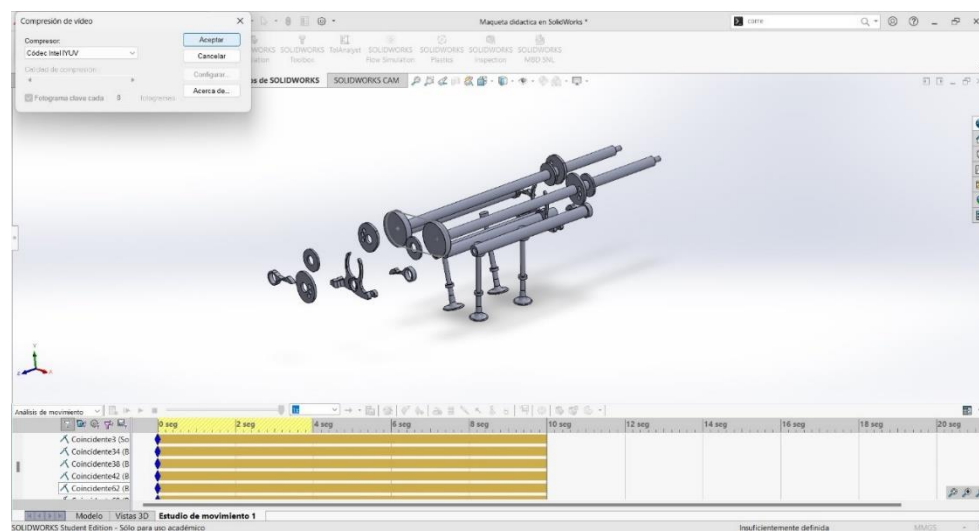


Figura 23.11. Compresión del video de Explosionado. Fuente: SolidWorks

Una vez transcurrido el tiempo de expandir y contraer el explosionado, se le da a pause para parar la grabación del vídeo.

## 16. Proceso de elaboración y montaje de la maqueta didáctica física

Se ha planteado la elaboración de la maqueta didáctica de carácter físico, partiendo de la realización de unos puntos para estructurar la selección de materiales y fabricación de dicha maqueta, los cuales son:

- Selección de los materiales
- Elaboración de la estructura de la maqueta
- Identificación de piezas
- Montaje de la maqueta

### Selección de los materiales

Para la elaboración de la maqueta se ha pensado diferentes tipos de estructuras, en la cual se quería que primara la limpieza visual del movimiento de las piezas que conforman la maqueta, pero a su vez también se ha querido buscar la sencillez de la estructura.

Los materiales planteados fueron:

- Aluminio
- Madera
- Metacrilato
- Policarbonato

Finalmente se seleccionó la madera ya que es fácil de trabajar, se puede realizar una estructura sencilla y también simula mejor el habitáculo de la cámara de combustión donde está originalmente dichas piezas.

### Identificación de las piezas

- Sujeción superior de los árboles de levas



Imagen 1. Planta inferior de la sujeción superior de los árboles de levas. Fuente: Propia



Imagen 2. Planta superior de la sujeción superior de los árboles de levas. Fuente: Propia

- Eje 2 y balancín 2



Imagen 3. Eje 2 y balancín 2. Fuente: Propia

- Eje 1, balancín 1, resorte y sujeción del resorte



Imagen 4. Eje 1, balancín 1, resorte y sujeción de resorte. Fuente: Propia

- Taqué y válvula



Imagen 5. Válvula y Taqué. Fuente: Propia



Imagen 6. Vista en detalle de la parte superior de la válvula y Taqué. Fuente: Propia

- Piñón, eje 1 y levas



Imagen 7. Piñón y árbol de levas. Fuente: Propia

### **Elaboración de la maqueta**

Se procede a cortar con una sierra unos tablones de 15x8x2cm, como los que se pueden ver en la imagen 8 y luego se lija. Se cortan con la forma que podemos ver en ambas imágenes, también es necesario realizar un rectángulo pequeño (ver imagen 15 y 16) y luego se lija, este taco se usará como guía de válvula, en él se realizará un taladro para el paso de dicha válvula.

Se posiciona la sujeción superior de los árboles de levas sobre los tablones de madera, donde se tomará las medidas de las posiciones de los orificios para introducir posteriormente el árbol de levas.



Imagen 8. Vista frontal del ensamblaje de la sujeción superior de los árboles de levas y estructura. Fuente: Propia

En los tablonces se realizan unos rebajes (semicírculos) como se puede observar en imagen 2, dichos rebajes servirán de apoyo, a los cuales se les irá dando forma para ajustar la posición de los árboles de levas. Al situar los árboles de levas se necesita tomar medidas de posición de las piezas, antes de extraerlas del bloque motor original.

Con dichos rebajes se irá ajustando la posición de los árboles de levas con la ayuda de una lija, para garantizar las tangencias entre leva-balancín y balancín-válvula. Garantizar las tangencias es la parte más compleja del montaje del Desmodrómico, se irá elaborando dichos rebajes.



Imagen 9. Estructura de la maqueta. Fuente: Propia



Imagen 10. Vista de los rebajes realizados. Fuente: Propia

Por último, cortar con una sierra y lijar dos tablones de 18,5x8,5cm que se usarán de apoyo para aumentar la altura de la maqueta, se corta y unen los tablones con cola y unos tacos como se puede ver en la siguiente imagen.



Imagen 11. Estructura. Fuente: Propia

A continuación, se acopla el balancín 2 con su respectivo eje 2.



Imagen 12. Ensamble de eje 2 en balancín 2. Fuente: Propia

Luego se acopla el balancín 2 en el eje 2 para posteriormente situar el resorte, dicho resorte es importante para asegurar el contacto pleno del balancín y la leva, este hará que se asegure la tangencia mencionada en el capítulo de ensamblaje de la maqueta en SolidWorks.



Imagen 13. Conjunto de balancín 1. Fuente: Propia



Imagen 14. Vista en planta superior del conjunto de balancín 1. Fuente: Propia

Se corta con una sierra y se lija un taco de madera con dimensiones 2x2x4cm que servirá como guía de válvula y posteriormente se realizará un agujero, como se puede observar en la imagen 15, que se usará de guía y así poder situar la guía en su lugar correspondiente en la válvula, como se puede ver en la siguiente imagen.



Imagen 15. Válvula con soporte. Fuente: Propia



Imagen 16. Vista frontal de Válvula con soporte. Fuente: Propia

Se ensambla válvula y taqué.



Imagen 17. Ensamble de válvula y Taqué. Fuente: Propia



Imagen 18. Vista en detalle del ensamblaje de válvula y Taqué. Fuente: Propia

Se ensambla el eje a la sujeción superior de los árboles de levas, en este paso hay que tener en cuenta que cada eje tiene su posición y esto hay que respetarlo, para el correcto funcionamiento de la maqueta, con el objetivo de saber dónde va posicionado, es conveniente que se observe la posición de la pieza en el motor original y se marque dicho eje antes de ser extraído del conjunto original.



Imagen 19. Ensamble de sujeción superior de los árboles de levas y eje 1. Fuente: Propia

Cortar con una sierra y lijar cuatro tablones de madera, dos de 12,5x2x2cm y dos de 9x2x2cm, donde se realizarán dos taladros en cada una para atornillarlas, y así darle rigidez a la estructura.



Imagen 20. Perfil de madera para la estructura. Fuente: Propia

La sujeción superior de los árboles de levas se colocará encima de los dos tablones de 15x8x2cm, para tomar medidas de las distancias de los agujeros que dispone la sujeción superior de los árboles de levas para hacer los taladros en los tablones para posteriormente ser fijada la sujeción superior de los árboles de levas a la estructura. En la siguiente imagen se puede observar mejor el proceso.

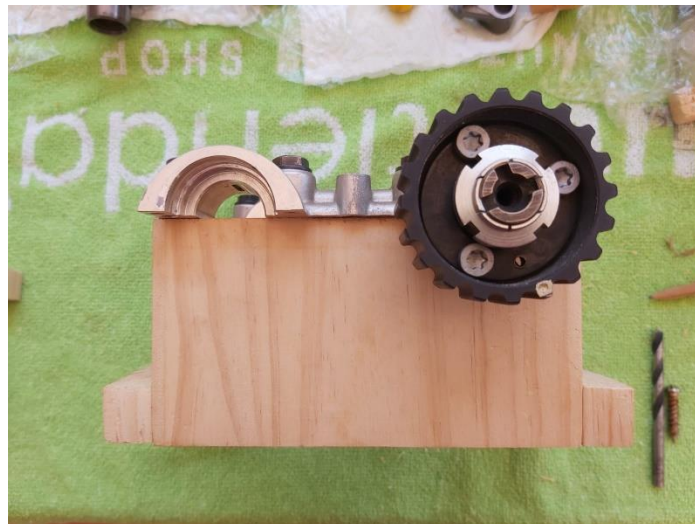


Imagen 21. Vista frontal del ensamblaje de sujeción superior de los árboles de levas, estructura y eje 1 con piñón. Fuente: Propia

El proceso de ubicación de las válvulas y balancines en la estructura es crítico debido a la complejidad del sistema. Las medidas se deben tomar con extrema precisión para garantizar que las piezas estén posicionadas de manera exacta y mantengan un contacto pleno. Esto es esencial ya que el sistema requiere que las piezas, específicamente las levas-balancín y balancín-válvula, estén en contacto constante durante todo el tiempo de funcionamiento.

Para lograr esto, primero se lleva a cabo una meticulosa toma de medidas. Estas medidas son esenciales para determinar la ubicación exacta de los puntos de montaje de las piezas en la estructura. Una vez que se han obtenido estas medidas con precisión, se procede a realizar los taladros necesarios en la estructura para colocar las piezas.

Estos taladros deben estar perfectamente alineados de acuerdo con las medidas tomadas previamente, asegurando así que las piezas se coloquen en la posición correcta. Con el taladro se realizarán orificios de igual diámetro que los bulones de los balancines, para introducirlos dentro y fijarlos.

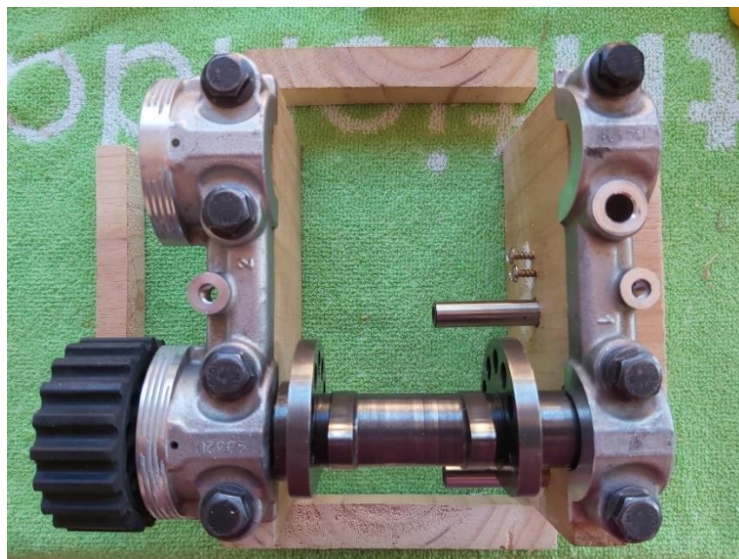


Imagen 22. Colocación de bulón. Fuente: Propia

Se toman las medidas de las distancias donde se tiene que ubicar la guía, para realizar unos taladros en el tablón delantero y trasero y así fijar la guía con cola y colocar los tornillos.

También, se llevarán a cabo unos taladros en el tablón delantero y trasero de la maqueta, para colocar unos tornillos que tendrán la función de hacer tope a los muelles de torsión del balancín 1, como se puede observar en la imagen 23.

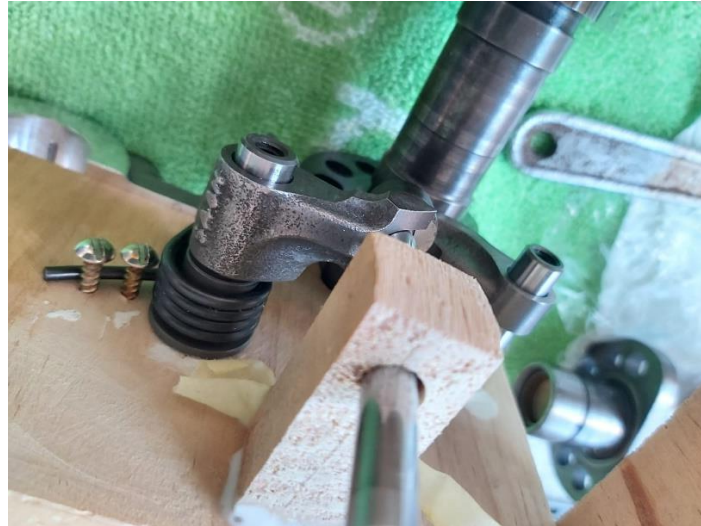


Imagen 23. Vista interior 1 de la maqueta. Fuente: Propia

Se procede a la unión del tablón delantero y trasero, los cuales servirán de estructura al sistema Desmodrómico.



Imagen 24. Vista interior 2 de la maqueta. Fuente: Propia

En las siguientes imágenes se puede observar cómo la válvula está introducida en la guía, estando esta fija a la estructura como se puede observar.



Imagen 25. Vista interior: Contacto del Balancín 1 a la válvula. Fuente: Propia



Imagen 26. Vista interior 3. Fuente: Propia

Se procede a realizar un asidero 14x2x2cm en la estructura para poder trasportar la maqueta, como se puede observar en la imagen 32.

Ya estaría la maqueta finalizada, se va a exponer las siguientes imágenes para observar con más detalle el contacto y la precisión del contacto entre las diferentes piezas.

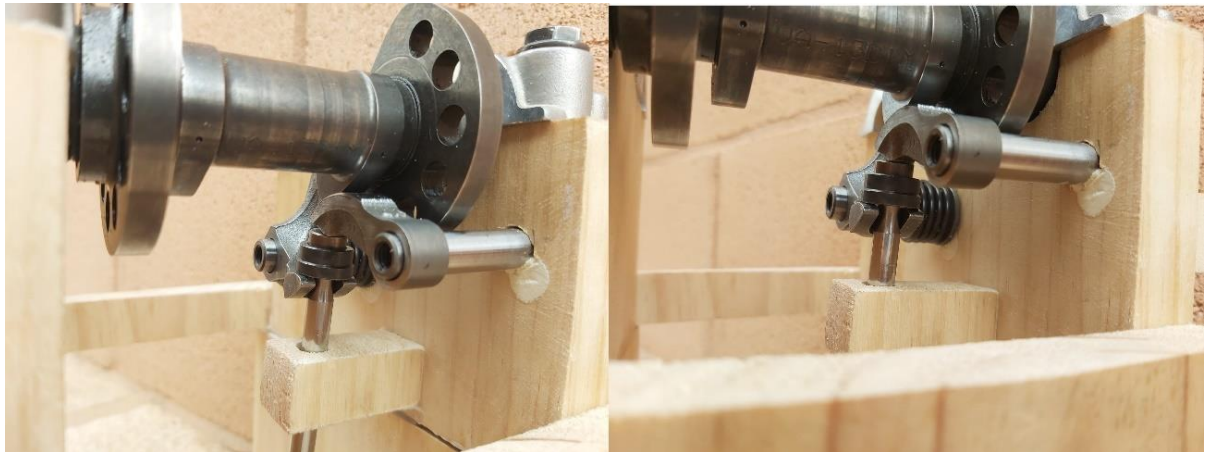


Imagen 27. Vista interior: Contacto de los balancines con las válvulas. Fuente: Propia

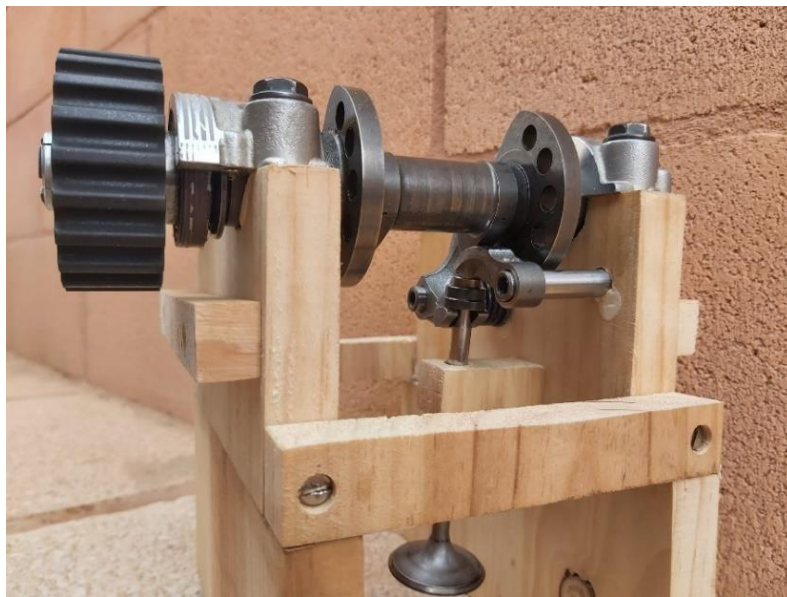


Imagen 28. Vista perfil del ensamblaje. Fuente: Propia



Imagen 29. Vista interior: Contacto de leva 1 con el balancín 1. Fuente: Propia

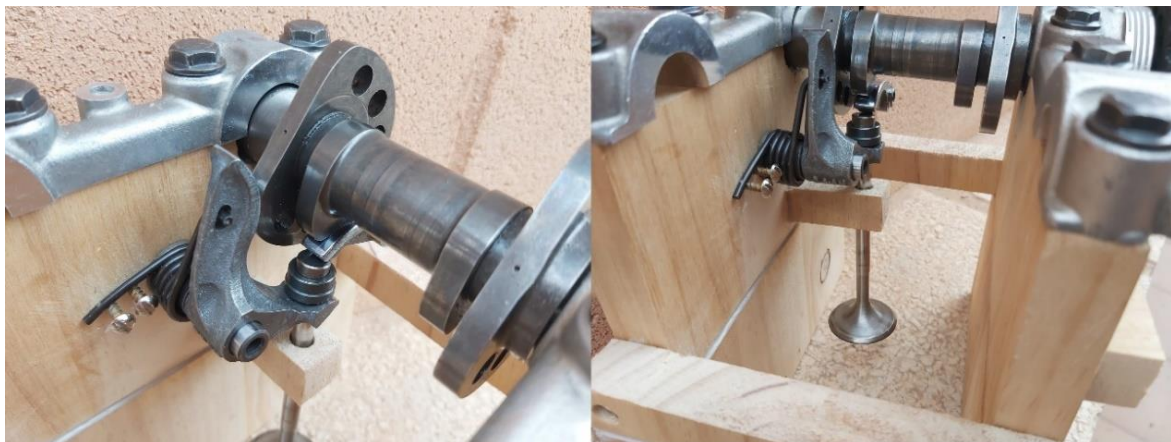


Imagen 30. Vista perfil del interior. Fuente: Propia

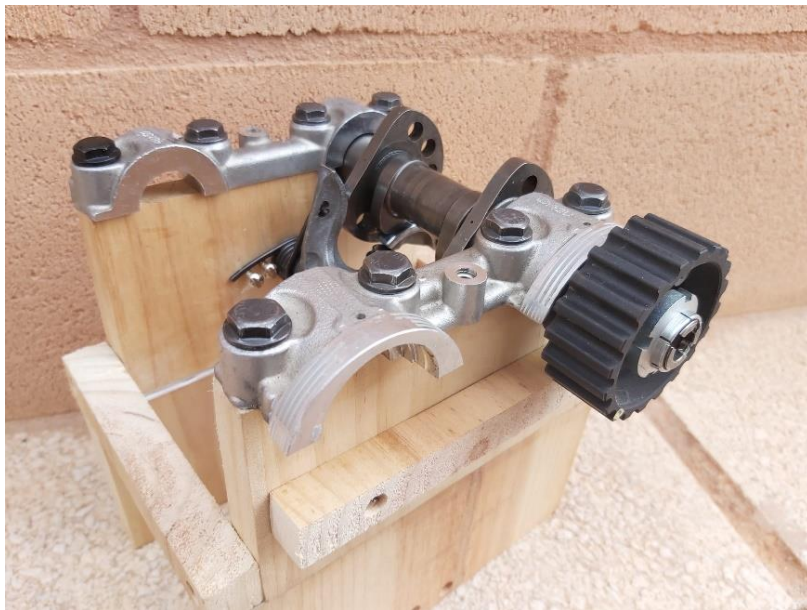


Imagen 31. Vista perfil 1 de la maqueta finalizada. Fuente: Propia



Imagen 32. Vista perfil 2 de la maqueta finalizada. Fuente: Propia



## 17. Conclusiones

Tras la realización del trabajo de fin de grado se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Describir los sistemas de distribución que hoy en día se han diseñado en el mundo del motor, con el fin de adquirir nociones de sus componentes, funcionamiento y fabricación de componentes, como también ver sus ventajas e inconvenientes, tratando como tema principal el sistema Desmodrómico.
- Se ha diseñado varios croquis para tener una visión previa de cómo fabricar una maqueta del sistema desmocuatro, una vez realizado esto se ha procedido a la selección de los materiales con los cuales se va a elaborar dicha maqueta.
- Se ha montado las piezas de la maqueta física y ensamblado correctamente, en la cual se puede ver su dinámica correctamente.
- Se ha utilizado el programa SolidWorks con el fin de fabricar un sistema desmocuatro, se ha procedido al dimensionado de cada una de las piezas para su posterior ensamblaje, como también su explosionado y sus planos correspondientes.
- Elaboración de la medición y presupuestos que conlleva realizar el presente trabajo de fin de grado.

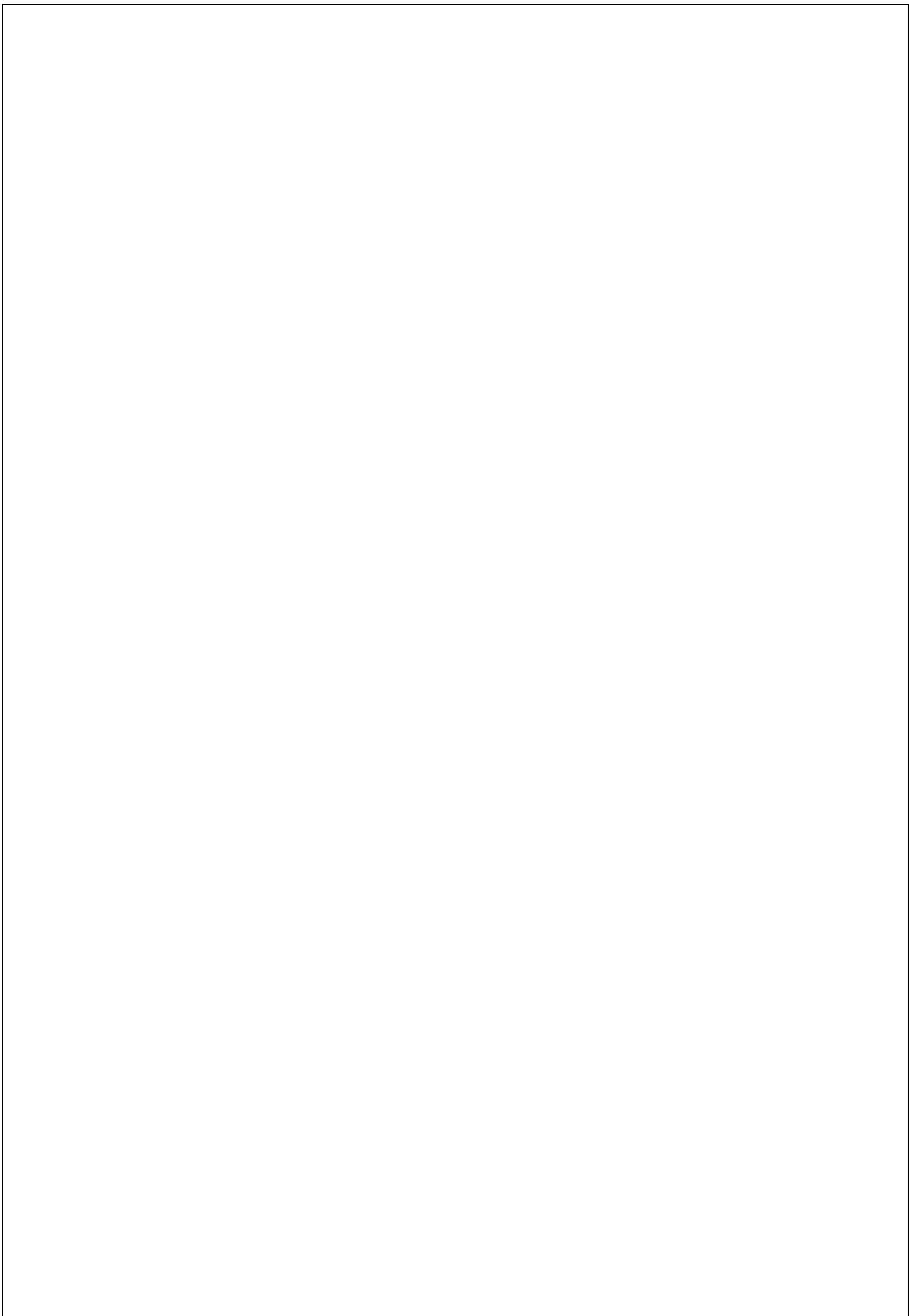


UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

**Diseño y Fabricación de Maqueta didáctica  
del sistema desmodrómico de Ducati**



**DOCUMENTO 2:  
MEDICIONES Y PRESUPUESTOS**





## Índice de mediciones y presupuestos

1. Mediciones por elemento .....	1
2. Presupuestos .....	2
2.1. Presupuestos de ejecución .....	2
2.2. Presupuesto final .....	3



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## **Diseño y Fabricación de Maqueta didáctica del sistema desmodrómico de Ducati**





## 1. Mediciones por elemento

El presente capítulo se centra en contabilizar los materiales, que contendrá la tabla 9 donde se desglosa el número de pieza, nombre, material y cantidad.

Nº PIEZA	NOMBRE	MATERIAL	CANTIDAD
1	Sistema desmodrómico usado	Acero	1
2	Tablón	Madera	2
3	Cola	Cola	1
4	Tornillos	Zinc Acero	8
5	Tacos	Madera	4
6	Lija	Lija	1

Tabla 9. Mediciones. Fuente: Propia

## 2. Presupuestos

A continuación, se desarrolla el presupuesto que se ha elaborado para llevar a cabo las mediciones requeridas en la creación de la maqueta didáctica.

Nº PIEZA	NOMBRE	UDS	PRECIO/UD (EUR)	IMPORTE (EUR)
1	Sistema desmodrómico usado	1	50	50
2	Tablón	2	5	10
3	Cola	1	2,41	2,41
4	Tornillos	8	0,07	0,56
5	Tacos	4	0,06	0,24
6	Lija	1	9,84	9,84
<b>TOTAL</b>				<b>73,05</b>

Tabla 10. Presupuesto material. Fuente: Propia



## 2.1. Presupuestos de ejecución

El presente capítulo tendrá como objetivo mostrar el precio de ejecución, desglosando las diferentes partidas de mano de obra.

DESIGNACIÓN	UNIDADES	PRECIO UNIDAD	IMPORTE
<b>ESTUDIOS PREVIOS</b>	2 h	18 €	36 €
<b>MODELADO EN SOFTWARE</b>	5 h	28 €	140 €
<b>SIMULACIÓN SOFTWARE</b>	2 h	26€	52 €
<b>MONTAJE MAQUETA</b>	5 h	15 €	75 €
<b>TOTAL</b>			<b>303 €</b>



## 2.2. Presupuesto final

En el capítulo 2.2 tiene como objetivo mostrar el presupuesto final del diseño y elaboración de la maqueta didáctica tanto virtual como física, considerando un 5% de gastos generales e IVA.

	%
PRESUPUESTO DE MATERIAL	73,05 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN	303 €
EJECUCIÓN MATERIAL	376,05 €
TOTAL PRESUPUESTO DE CONTRATO	394,85 €
IVA	21 % 82,92 €
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>477,77€</b>

Asciende el presupuesto proyectado a la cantidad de **CUATROCIENTOS SETENTA Y SIETE CON SETENTA Y SIETE CÉNTIMOS**

En Málaga, SEPTIEMBRE 2023

D.Cristian Pedraza Luque

DNI 25610182G



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## Diseño y Fabricación de Maqueta didáctica del sistema desmodrómico de Ducati



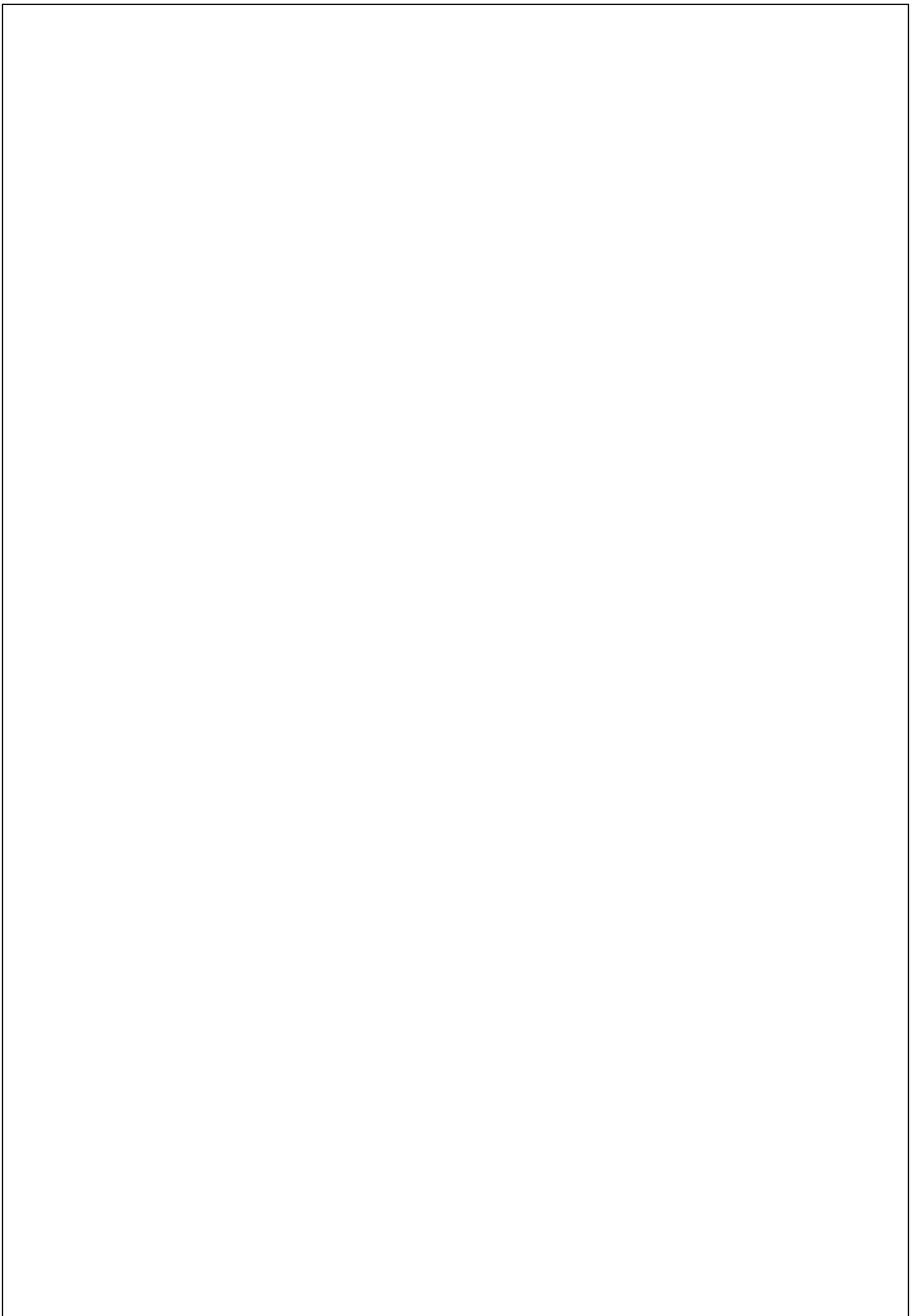


UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

**Diseño y Fabricación de Maqueta didáctica  
del sistema de distribución desmosdrómico de Ducati**



# **DOCUMENTO 3: PLANOS**





### Relación de planos:

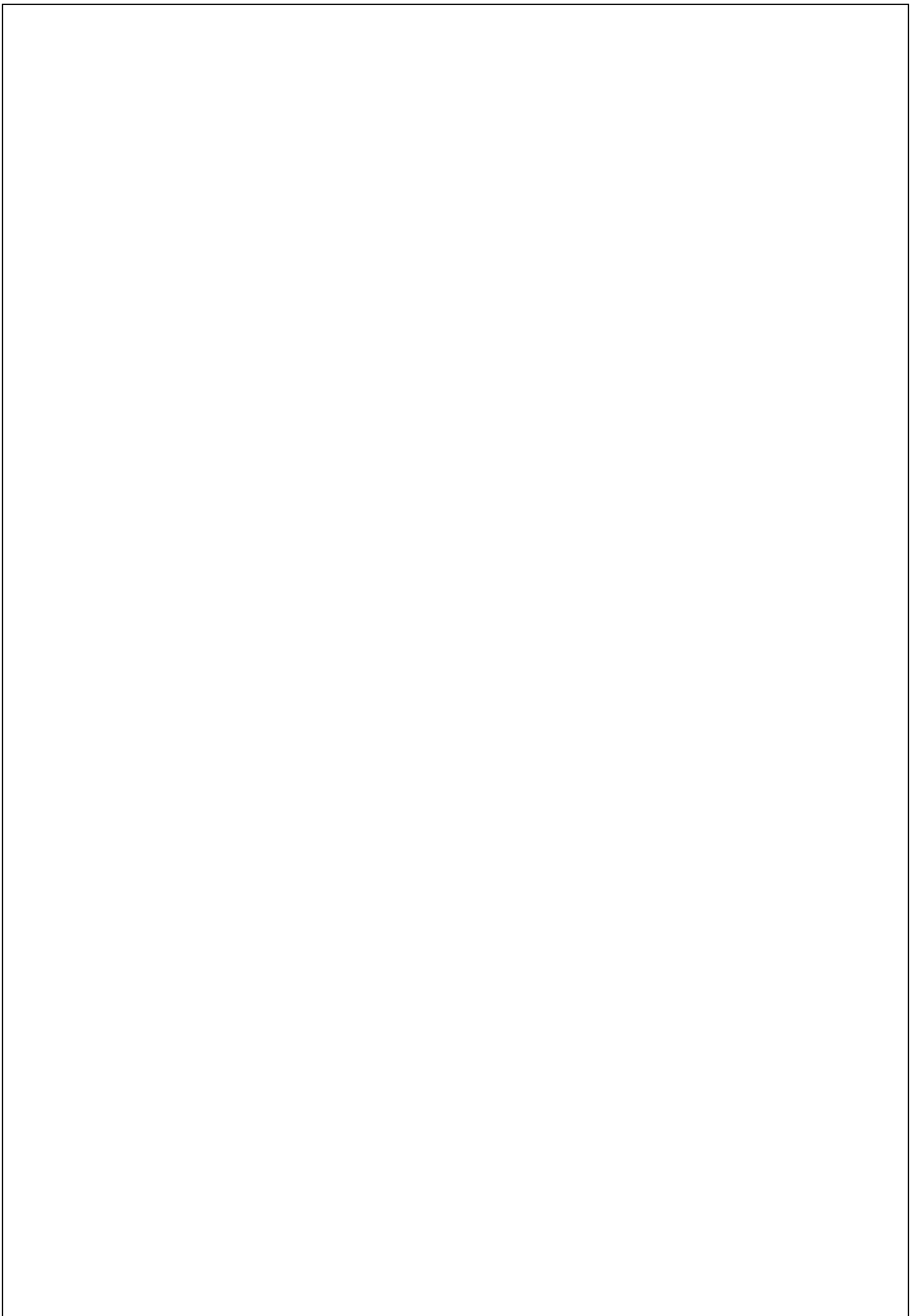
Plano 1: Explosionado de maqueta

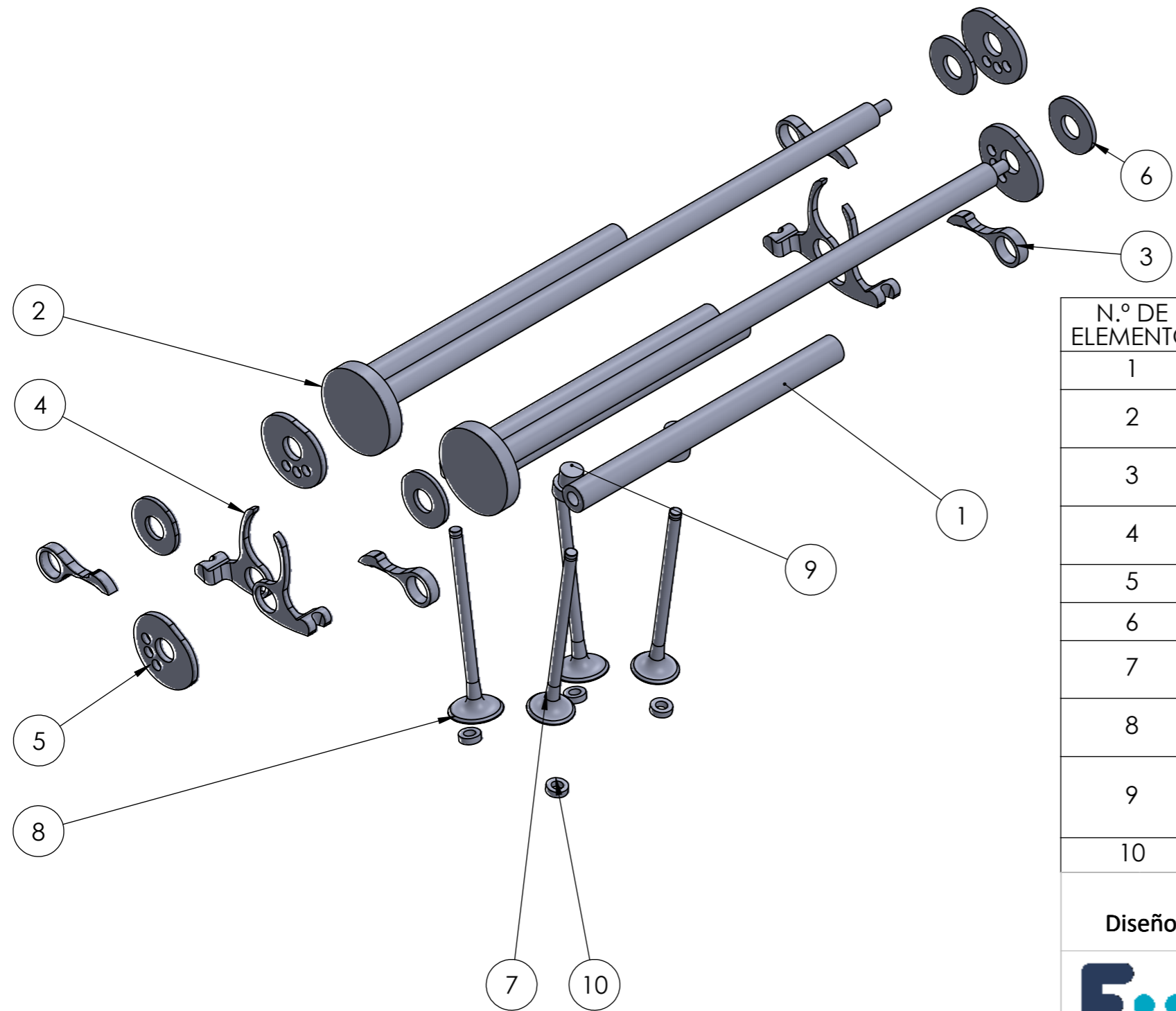
Plano 2: Detalle de Eje 1, Eje 2, Guía, Taqué y Válvula de admisión (Piezas 2, 1, 10, 9 y 8)

Plano 3: Detalle de Balancín 1 y Balancín 2 (Piezas 4 y 3)

Plano 4: Detalle de Leva 1, Leva 2 y Válvula de escape (Piezas 5, 6, 7)

Plano 5: Plano general Maqueta didáctica





N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Eje 2	Eje donde se sujeta el Balancín	4
2	Eje 1	Elemento por donde entra la transmisión	2
3	Balancín 2	Balancín que impulsa la válvula para su apertura	4
4	Balancín 1	Balancín que impulsa la válvula a su posición inicial	4
5	Leva 1	Leva que impulsa a Balancín sube	4
6	Leva 2		4
7	Válvula de escape	Válvula por donde sale los gases	2
8	Válvula de admisión	Válvula por donde entra la mezcla de aire-combustible	2
9	Taqué	Pieza intermedia entre balancín y leva	4
10	Guía	Elemento de guía para la válvula	4

**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

Diseño y Fabricación de Maqueta didáctica del sistema desmosdromico de Ducati



Universidad de Málaga  
Grado en Ingeniería Mecánica



Autor: Cristian Pedraza Luque

Tutor: Jesus Javier Jimenez Galea  
Cotutor: Isidro Maria Santos Ráez

Unidades:

DNI: 25610182G

Fecha: 31/08/2023

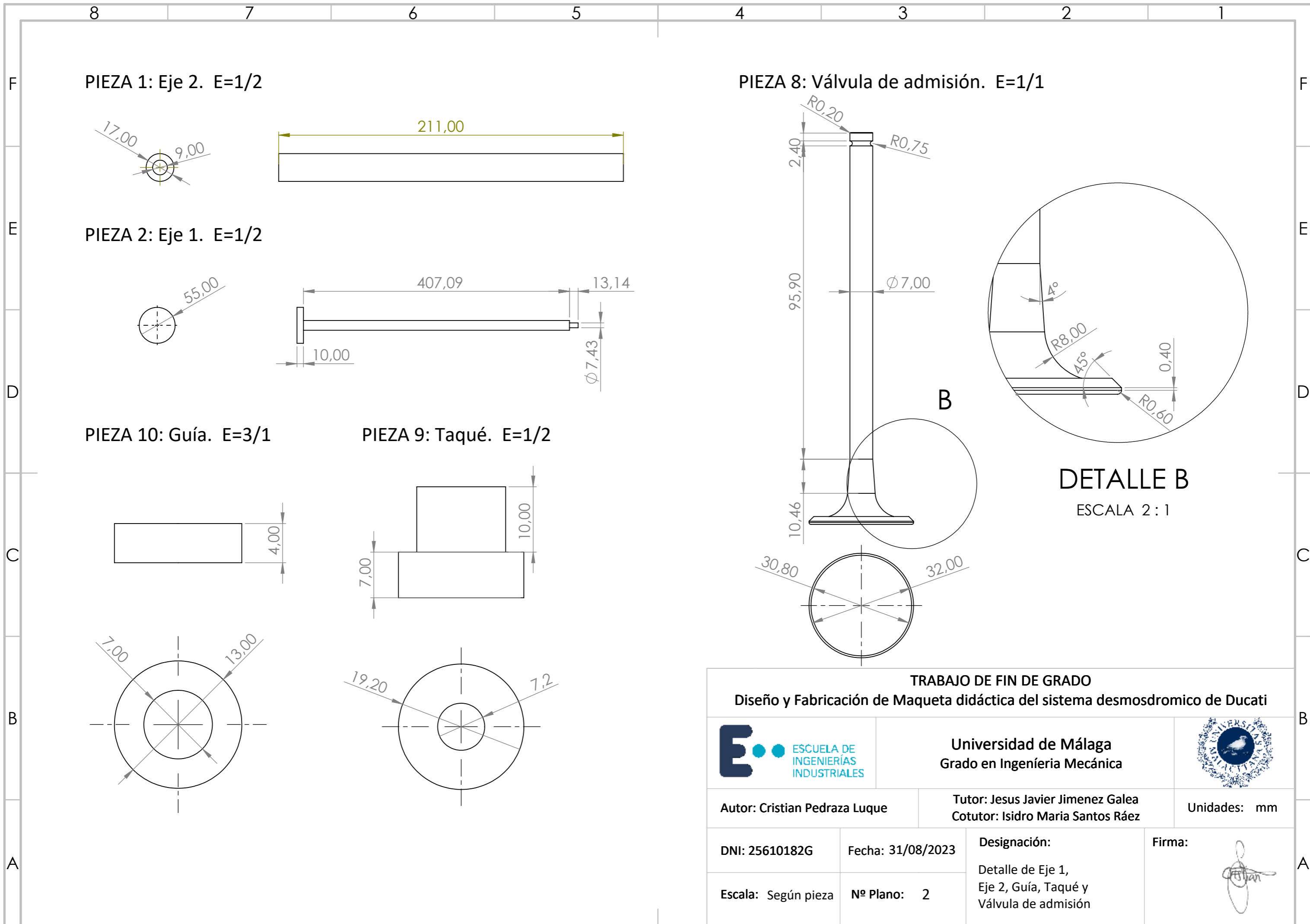
Designación:

Firma:

Escala: 1/3

Nº Plano: 1

Explosionado de maqueta



PIEZA 1: Eje 2. E=1/2



PIEZA 2: Eje 1. E=1/2

PIEZA 8: Válvula de admisión. E=1/1

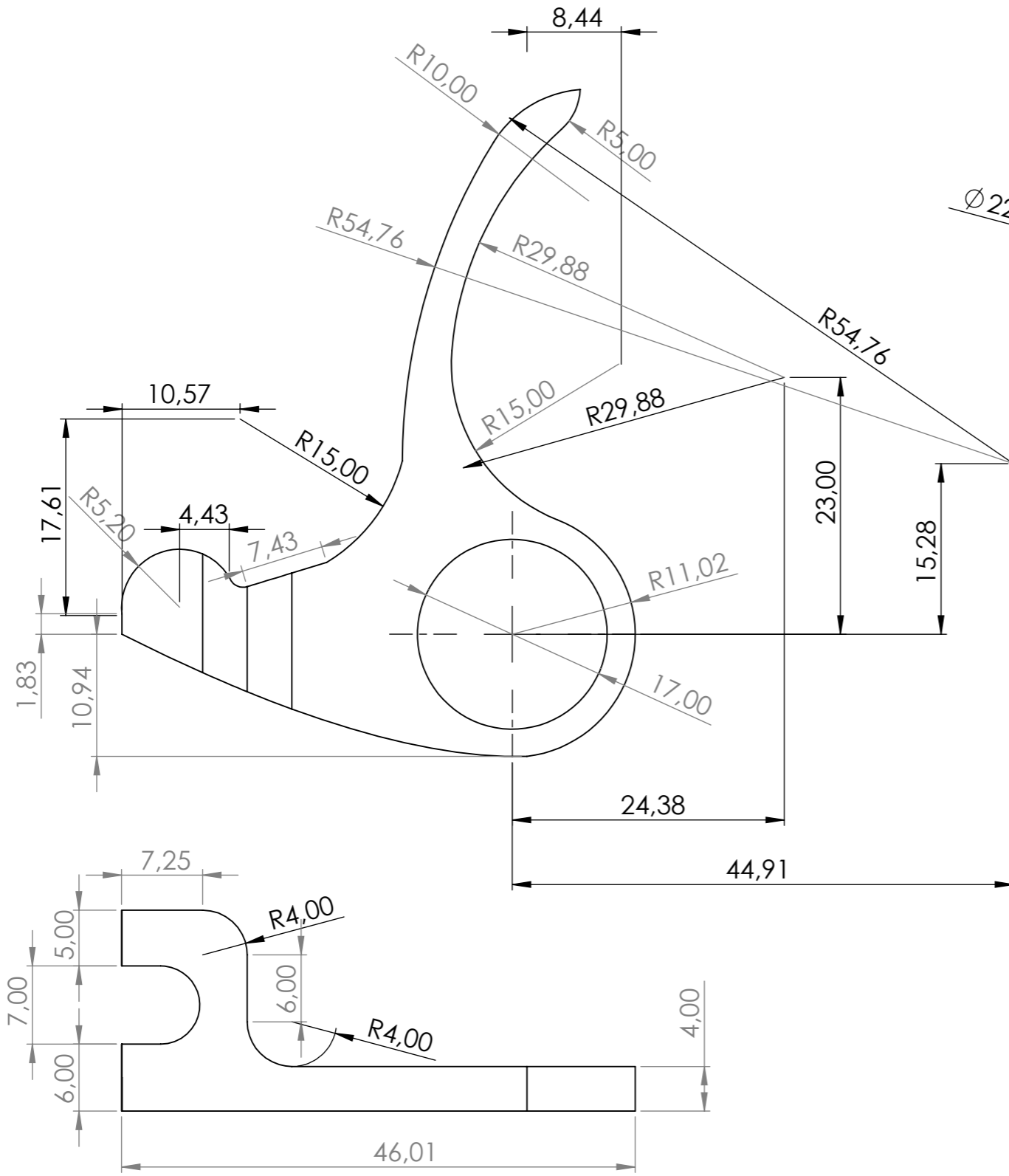
PIEZA 10: Guía. E=3/1

PIEZA 9: Taqué. E=1/2

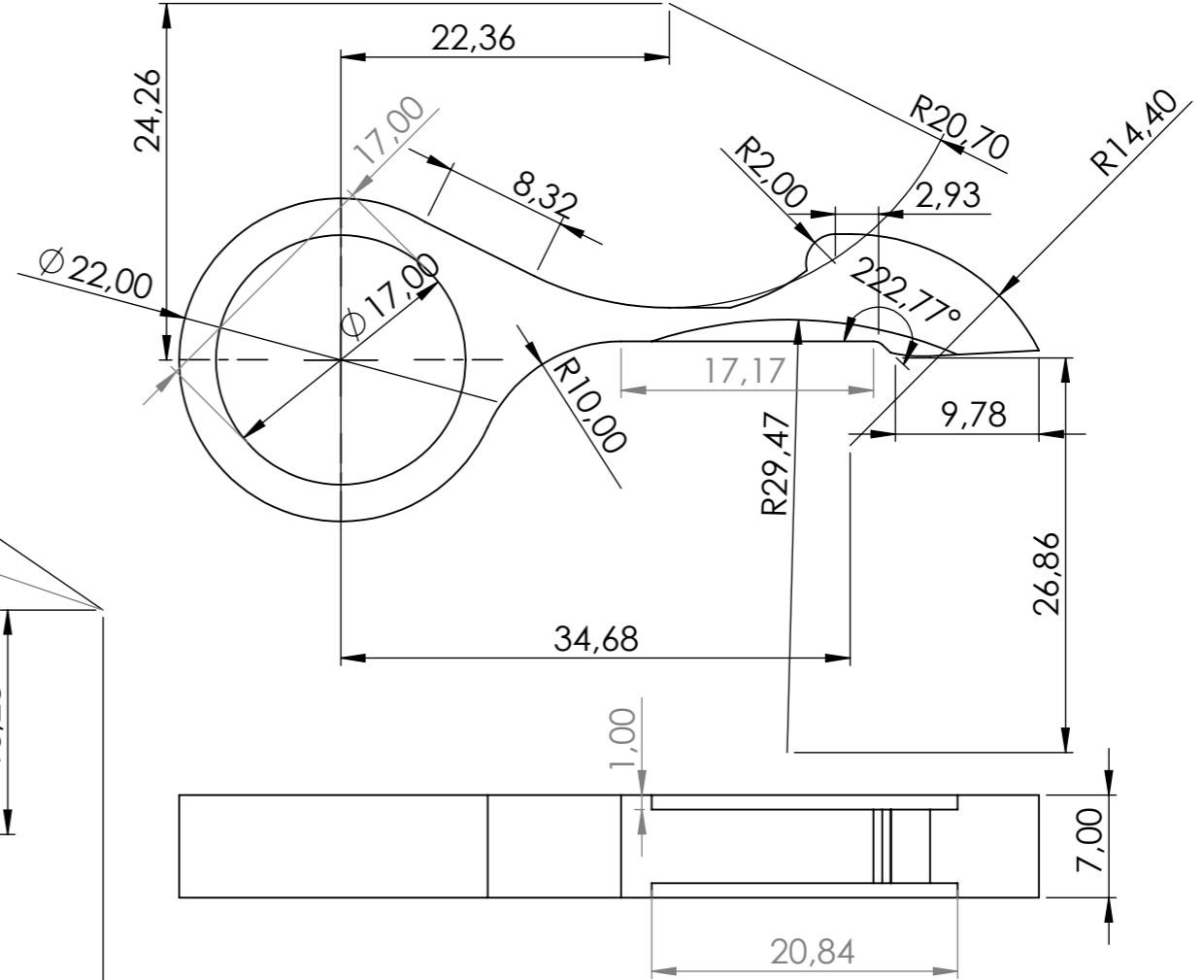
DETALLE B  
ESCALA 2:1

<b>TRABAJO DE FIN DE GRADO</b>			
Diseño y Fabricación de Maqueta didáctica del sistema desmosdromico de Ducati			
		<b>Universidad de Málaga</b> Grado en Ingeniería Mecánica	
Autor: Cristian Pedraza Luque		Tutor: Jesus Javier Jimenez Galea Cotutor: Isidro Maria Santos Ráez	
DNI: 25610182G		Unidades: mm	
Fecha: 31/08/2023		Firma: 	
Escala: Según pieza		Designación: Detalle de Eje 1, Eje 2, Guía, Taqué y Válvula de admisión	
Nº Plano: 2			

PIEZA 4: Balancín 1. E= 2/1



PIEZA 3: Balancín 2. E= 2/1



TRABAJO DE FIN DE GRADO

Diseño y Fabricación de Maqueta didáctica del sistema desmosdromico de Ducati



Universidad de Málaga  
Grado en Ingeniería Mecánica



Autor: Cristian Pedraza Luque

Tutor: Jesus Javier Jimenez Galea  
Cotutor: Isidro Maria Santos Ráez

Unidades: mm

DNI: 25610182G

Fecha: 31/08/2023

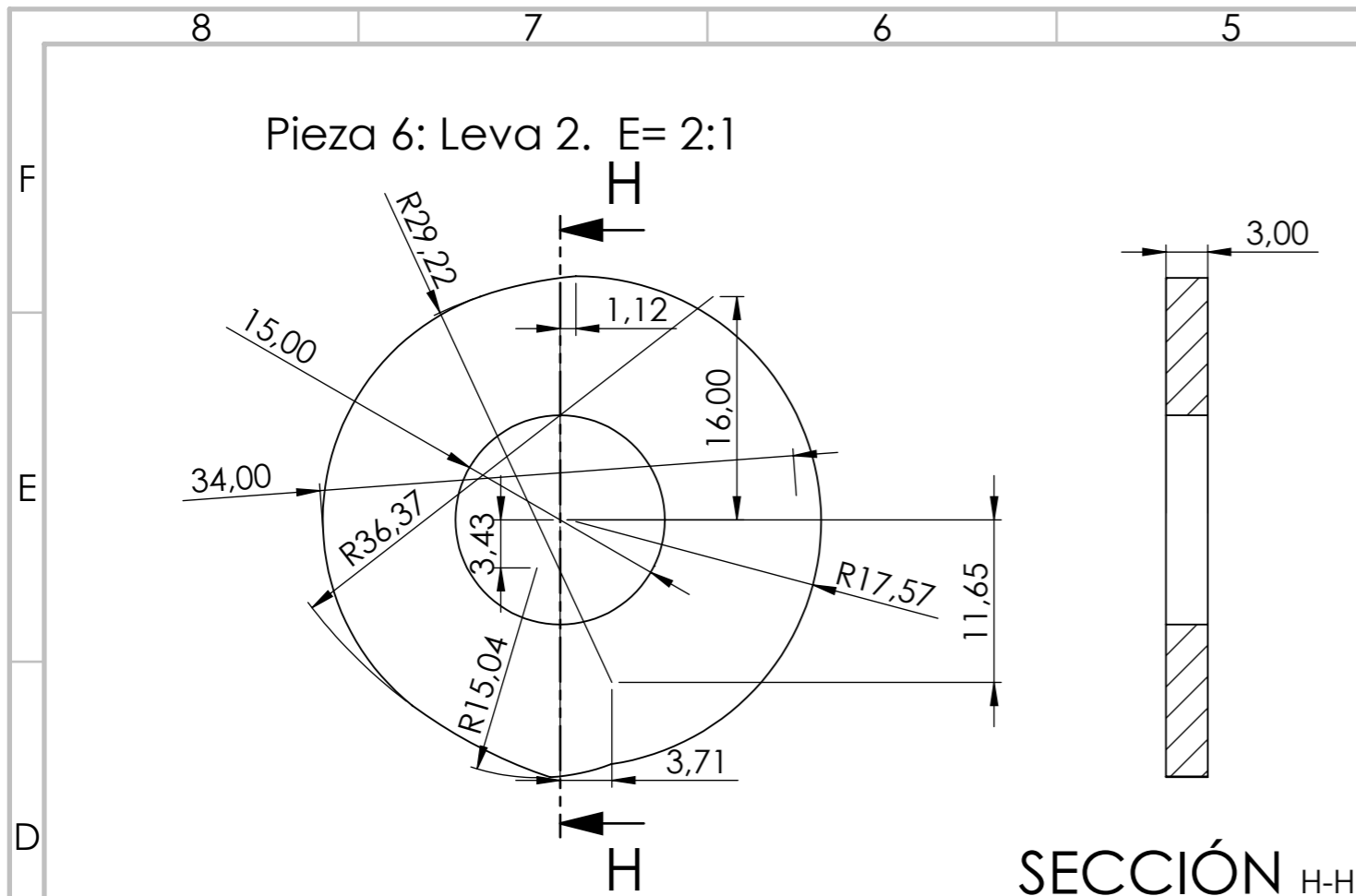
Designación:

Firma:

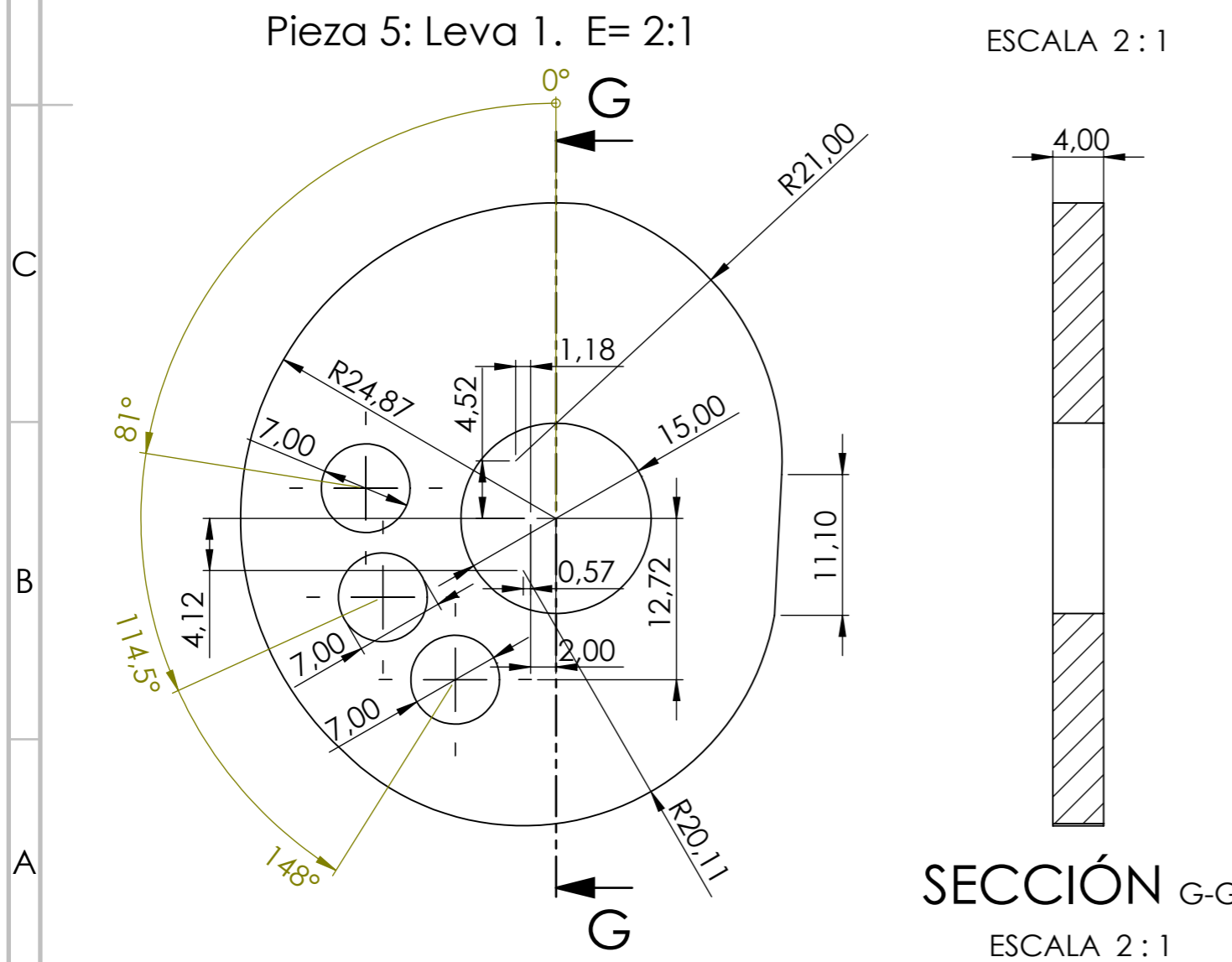
Escala: 2/1

Nº Plano: 3

Detalle de Balancín 1 y  
Balancín 2

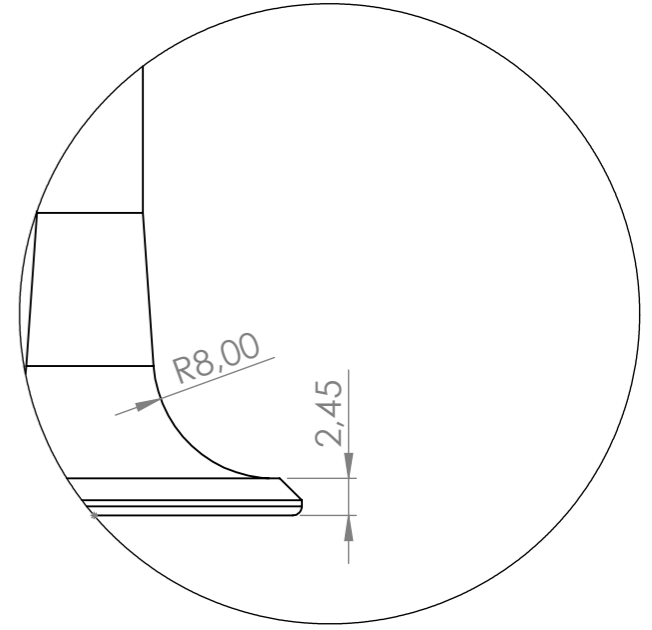
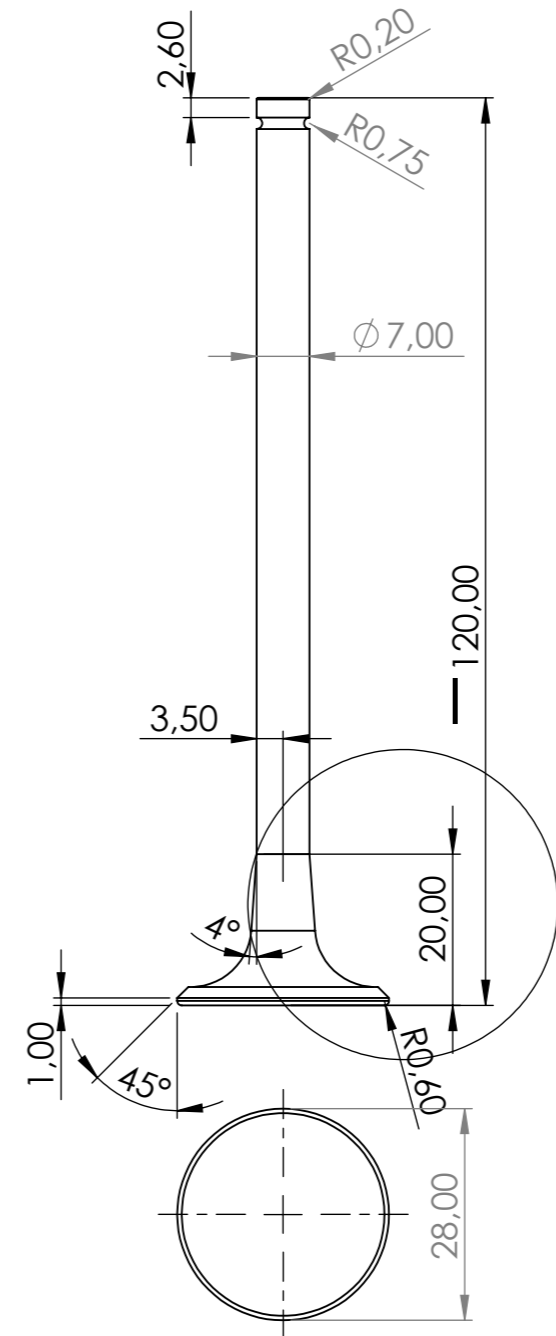


SECCIÓN H-H  
ESCALA 2 : 1






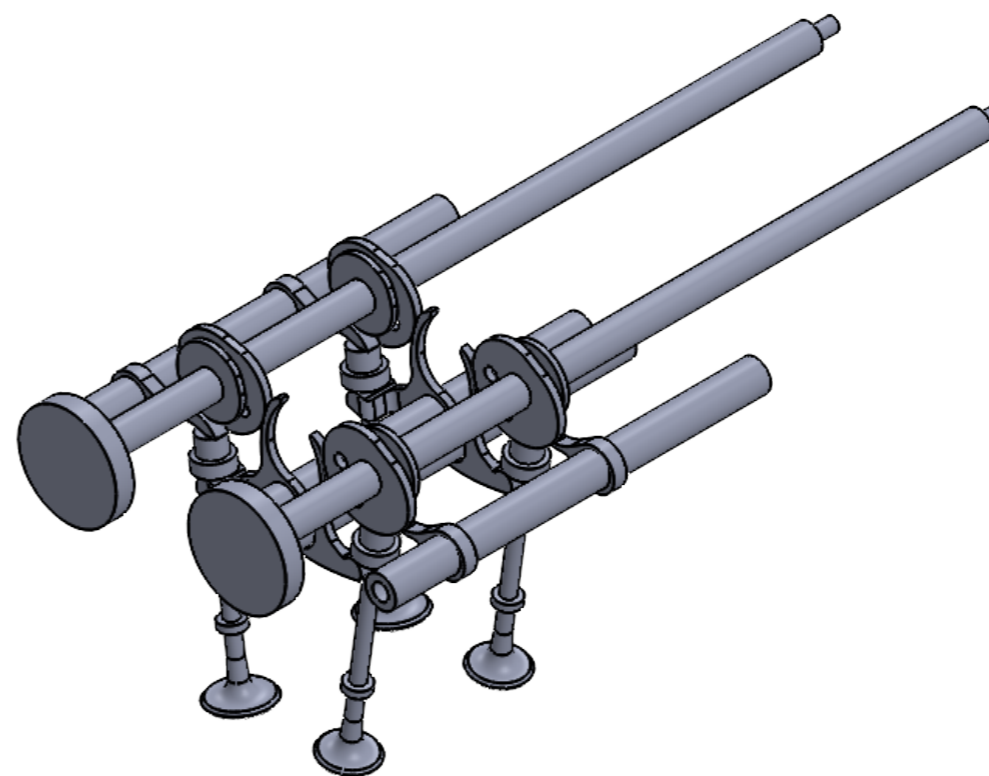
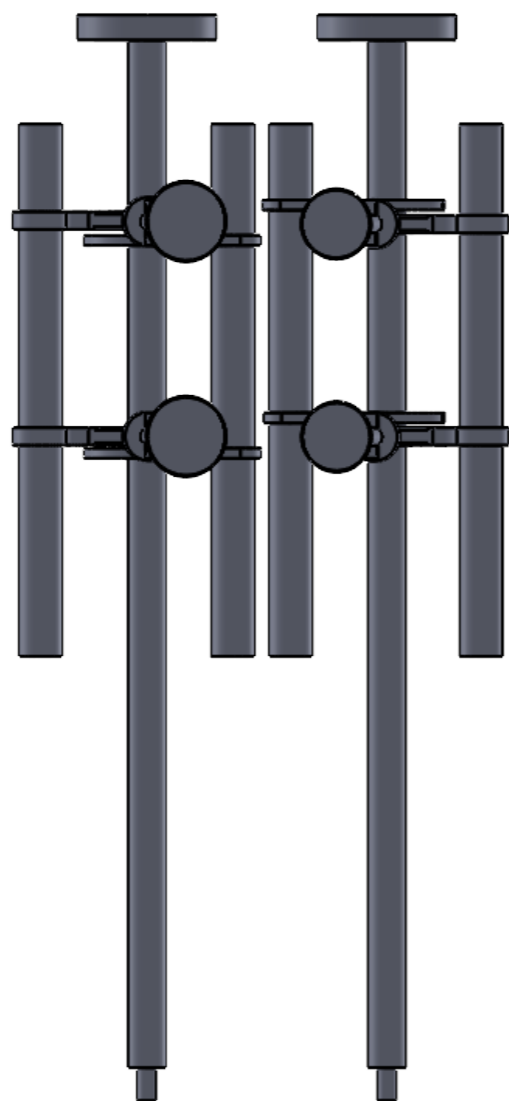
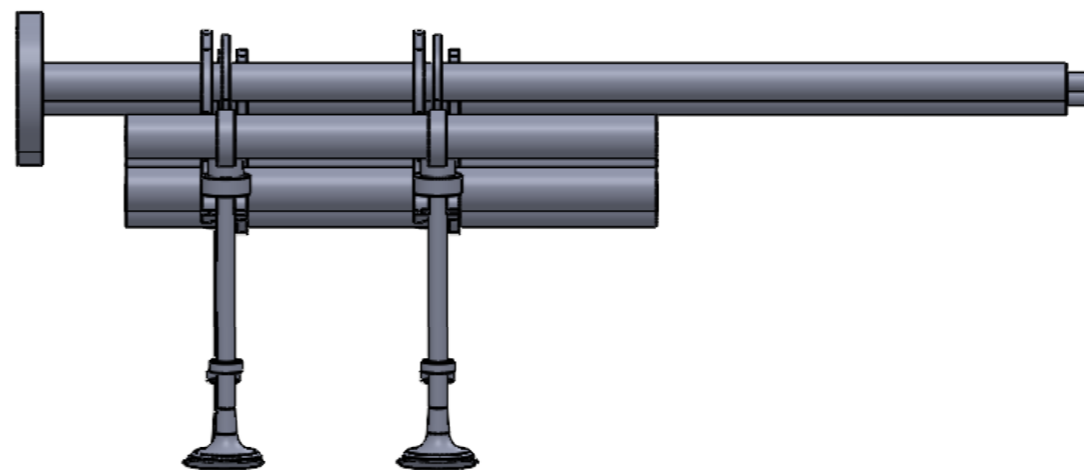
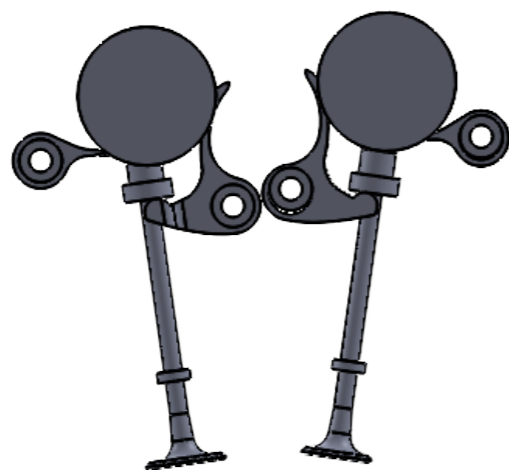
SECCIÓN G-G  
ESCALA 2 : 1


Pieza 7: Válvula de escape. E= 1:1



DETALLE I  
ESCALA 2 : 1

<b>TRABAJO DE FIN DE GRADO</b>			
Diseño y Fabricación de Maqueta didáctica del sistema desmosdromico de Ducati			
		<b>Universidad de Málaga</b> Grado en Ingeniería Mecánica 	
Autor: Cristian Pedraza Luque		Tutor: Jesus Javier Jimenez Galea Cotutor: Isidro Maria Santos Ráez	
Unidades: mm			
DNI: 25610182G	Fecha: 31/08/2023	Designación:	Firma:
Escala: Según pieza	Nº Plano: 4	Detalle de Leva 1, Leva 2 y Válvula de escape	



<b>TRABAJO DE FIN DE GRADO</b>			
Diseño y Fabricación de Maqueta didáctica del sistema desmosdromico de Ducati			
	Universidad de Málaga Grado en Ingeniería Mecánica		
	Autor: Cristian Pedraza Luque		
DNI: 25610182G	Fecha: 31/08/2023	Designación:	Unidades:
Escala: 1:3	Nº Plano: 5	Plano general Maqueta didáctica	Firma: 

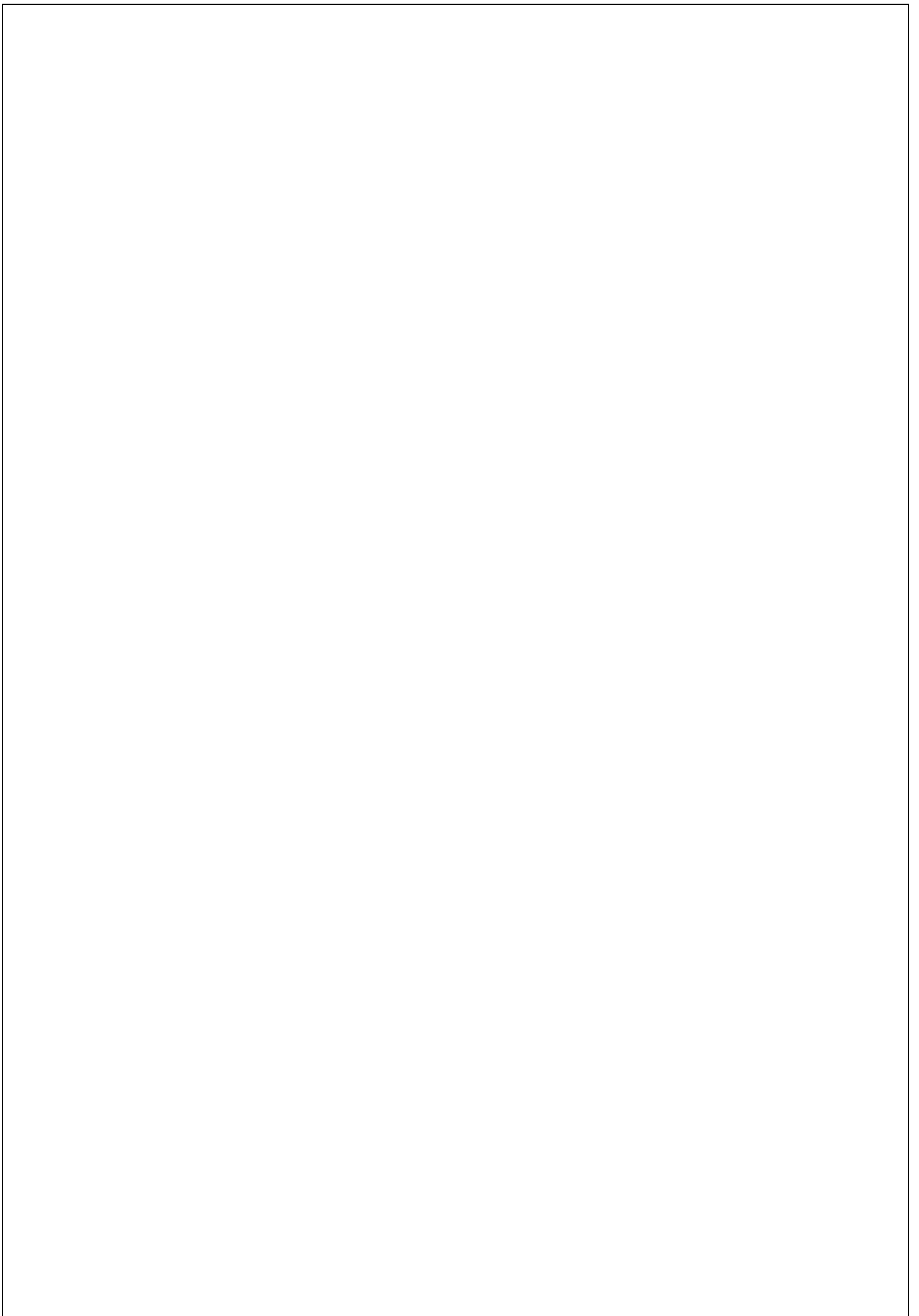


UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

**Diseño y Fabricación de Maqueta didáctica  
del sistema de distribución desmosdrómico de Ducati**



**DOCUMENTO 4:  
BIBLIOGRAFÍA**





- [1]. DUCATISTA.AT. Zuletzt aktualisiert (18/04/2023). Die Geschichte von Ducati.  
[www.ducatista.at/geschichte.html](http://www.ducatista.at/geschichte.html)
- [2]. ESIRITURACER.COM. (26/10/2021). MOTO DEL DÍA: DUCATI CUCCIOLO.  
[HTTPS://MOTOS.ESPIRITURACER.COM/MOTODELDIA/MOTO-DEL-DIA-DUCATI-CUCCIOLO/](https://motos.espirituracer.com/motodeldia/moto-del-dia-ducati-cuccioLO/)
- [3]. Motosan.es (18/01/2020). La Storia Ducati: Bellisima.  
<https://www.motosan.es/vintage/la-storia-ducati-bellisima/>
- [4]. MECUM AUCTIONS (2020). 1972 Ducati 750 GT.  
[1972 Ducati 750 GT at Las Vegas Motorcycles 2020 as S162.2 - Mecum Auctions](https://www.mecum.com/lot/1972-Ducati-750-GT-at-Las-Vegas-Motorcycles-2020-as-S162.2-Mecum-Auctions)
- [5]. Todocircuito.com. (22/03/2017). Ducati 851 Superleggera: dos mitos fusionados 27 años después. <https://www.todocircuito.com/noticias/14091-Ducati%20851%20Superleggera:%20dos%20mitos%20fusionados%2027%20a%C3%B1os%20despu%C3%A9s.html>
- [6]. Cuoredesmo.com. (2018). Ducati Indiana: il sogno americano.  
<https://www.cuoredesmo.com/ducati-indiana-il-sogno-americano/>
- [7]. SlateFR. Gilles Bridier (22/04/2012). Ducati: une moto, un moteur, une légende.  
<https://www.slate.fr/story/53643/ducati-moteur>
- [8]. Makinandovelez.com. (12/11/2019). Motores de combustión externa vs. combustión interna. <https://makinandovelez.wordpress.com/2019/11/12/motores-de-combustion-externa-vs-combustion-interna/>
- [9]. ELECTROMECAÁNICA. Nelson (12/02/2015). MOTORES TEMA 3.2 componentes Motor/Culata  
[ELECTROMECAÁNICA: MOTORES TEMA 3.2 componentes Motor/Culata \(laspalmastecnologica.blogspot.com\)](http://laspalmastecnologica.blogspot.com)
- [10]. Lapps.es (29/02/2020). Motor rotativo Wankel y el MOTOR X rotativo  
<https://lapps.es/motor-rotativo-wankel-y-el-motor-x-rotativo/>
- [11]. Repuestospagan.es. (2023). BUJIAS. <https://repuestospagan.es/taller-mecanico/mantenimiento-del-coche/bujias/>
- [12]. Motoycasco.com. (2014). QUE ES UN MOTOR DE 4 TIEMOS Y COMO FUNCIONA. (<https://motoycasco.com/que-es-motor-cuatro-tiempos-como-funciona/>)
- [13]. Revistamoto.com. (26/05/2020). En los motores todo es cuestión de tiempo.  
<https://revistamoto.com/wp-content/uploads/2020/05/en-los-motores-todo-es-cuestion-de-tiempos/>



- [14]. Motorgiga.com. (2023). Refrigeración. <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/refrigeracion-definicion-significado/gmx-niv15-con195339.htm>
- [15]. Pasionbiker.com. (2023). Sistema de enfriamiento por aire. <https://www.pasionbiker.com/sistema-enfriamiento-aire/>
- [16]. Monkeymotor.net. (2016). Compresor vs Turbo: Como funcionan, ventajas y desventajas. <https://www.monkeymotor.net/2016/07/compresor-vs-turbo-como-funcionan.html>
- [17]. mecanicaautomotrizdg.wordpress.com. Estructura del motor de explosión. <https://mecanicaautomotrizdg.wordpress.com/2017/06/09/estructura-del-motor-de-explosion/>
- [18]. actualidadmotor.com. (2021). El bloque motor: qué es, de qué está hecho, partes, tipos, fabricación. <https://www.actualidadmotor.com/el-bloque-motor-y-la-culata/>
- [19]. futurosmaquinistas.wixsite.com. LAS CAMISAS Y SU DISPOSICIÓN EN EL BLOQUE MOTOR. <https://futurosmaquinistas.wixsite.com/maquinistas-a-bordo/single-post/2016/03/11/las-camisas-y-su-disposici%C3%B3n-en-el-bloque-motor>
- [20]. ingenieromarino.com. Las Camisas y su Disposición en el Bloque Motor. <https://ingenieromarino.com/las-camisas-y-su-disposicion-en-el-bloque-motor/>
- [21]. Como-Funciona.com. Cómo funciona un pistón. [https://como-funciona.co/un-piston/?utm\\_content=cmp-true](https://como-funciona.co/un-piston/?utm_content=cmp-true)
- [22]. Pruebaderuta.com. Elementos que componen el motor. <https://www.pruebaderuta.com/elementos-que-componen-el-motor.php>
- [23]. Ieselcano.es. Componentes motor. <https://sites.google.com/a/ieselcano.es/motores/componentes-motor-ci/segmentos-1>
- [24]. EcuRed. Bulón. <https://www.ecured.cu/Bul%C3%B3n>
- [25]. cnice. Biela (2006) [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope\\_biela.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope_biela.htm)
- [26]. ActualidadMotor.com. (2021). Diego Lopez Donaire. La biela: qué es, qué partes tiene, tipos, función y materiales. <https://www.actualidadmotor.com/la-biela-partes-y-funcin/>
- [27]. aviamech.blogspot.com. Yasantha Pathirana (31/12/2012). Aircraft Maintenance Engineering-Mechanical: Pistón Engine Connecting Rosds <https://aviamech.blogspot.com/2012/12/piston-engine-connecting-rosds.html>
- [28]. Researchgate.net. Cristina Rodríguez. [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Partes-de-un-cigueenal\\_fig1\\_280641058](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Partes-de-un-cigueenal_fig1_280641058)



- [29]. Como-funciona.com. Jose Luis R. Volante de inercia. [https://como-funciona.co/volante-de-inercia/#google\\_vignette](https://como-funciona.co/volante-de-inercia/#google_vignette)
- [30]. ingmecafenix.com. (2019). Que es un cárter automotriz y que tipos existen. <https://www.ingmecafenix.com/mecanica/automotriz/el-cárter/>
- [31]. wikipedia.org. Cárter seco. [https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1rter\\_seco](https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1rter_seco)
- [32]. geocities.ws. Culata. <https://www.geocities.ws/mecanicainacap/culata.html>
- [33]. Motorgiga.com. (2023). CAMARA DE COMBUSTIÓN - Definición - Significado.  
<https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/camara-de-combustion-definicion-significado/gmx-niv15-con193349.htm>
- [34]. Noticias.coches.com (10/2018). Mario Nogales  
[https://noticias.coches.com/consejos/junta-de-culata-definicion-averia/306892?gclid=Cj0KCQjwi7GnBhDXARIsAFLvH4nHmgXtcYSH6Zp6SBUund9NcJ84zt1lnEZuFb5ILgoiRK2aMcXueAQaAq-KEALw\\_wcB](https://noticias.coches.com/consejos/junta-de-culata-definicion-averia/306892?gclid=Cj0KCQjwi7GnBhDXARIsAFLvH4nHmgXtcYSH6Zp6SBUund9NcJ84zt1lnEZuFb5ILgoiRK2aMcXueAQaAq-KEALw_wcB)
- [35]. Automecanico.com (no pone fecha). Autor desconocido TRANSMISION MANUAL - [STANDARD TRANSMISSION] - pag. 1.  
<https://automecanico.com/auto2003/transma21g.html>
- [36]. ForoMecanicos.com. TRANSMISIONES AUTOMATICAS - part. 2/10.  
<https://www.foromecanicos.com/f02/ftrans02.html>
- [37]. AUTOYTÉCNICA.COM. (8/2023). Radiador-motor  
<https://autoytecnica.com/sistema-de-refrigeracion-de-un-motor/radiador-motor/>
- [38]. MECANICO AUTOMOTRIZ. (22/08/2016). Motores y sus sistemas auxiliares: Tema 8. Órganos de la distribución  
<https://ajustedemotor.blogspot.com/2014/05/sistema-de-distribucion-del-motor.html>
- [39]. MECANICO AUTOMOTRIZ. (22/08/2016). Elementos móviles
- [40]. pruebaderuta.com. ¿Qué es un motor SV, OHV, SOHC y DOHC?  
<https://www.pruebaderuta.com/que-es-un-motor-sv-ohv-sohv-y-dohc.php>
- [41]. MECANICO AUTOMOTRIZ. (22/08/2016). TEMA 4.- DISTRIBUCIÓN
- [42]. mecanicadelamoto.com. (22/07/2020). EJE 1 DE LEVAS ¿ÚNICO O DOBLE?.  
[HTTPS://MECANICADELAMOTO.COM/BLOG/EJE-1-DE-LEVAS-SIMPLE-Y-DOBLE](https://MECANICADELAMOTO.COM/BLOG/EJE-1-DE-LEVAS-SIMPLE-Y-DOBLE)
- [43]. Autonoción.com. Álvaro Prieto Amaya (09/04/2018). Los motores VTEC de Honda a fondo: Qué son, historia y funcionamiento,



[HTTPS://WWW.AUTONOCION.COM/MOTORES-VTEC-HONDA-HISTORIA-FUNCIONAMIENTO](https://www.autonocion.com/motores-vtec-honda-historia-funcionamiento)

[44]. blogmecanicos.com. (27/03/2019). Como se varía el diagrama de distribución en Honda. [http://www.blogmecanicos.com/2019/03/como-se-varia-el-diagrama-de\\_27.html](http://www.blogmecanicos.com/2019/03/como-se-varia-el-diagrama-de_27.html)

[45]. espirituracer.com. (16/04/2018). COMO ES E SISTEMA VTEC DE HONDA, ingeniería japonesa a servicio de rendimiento. <https://espirituracer.com/reportajes/como-es-el-sistema-honda-vtec/>

[46]. MECANICO AUTOMOTRIZ. (22/08/2016). SISTEMA VVT-i: Distribución de válvulas variable inteligente

[47]. blogmecanicos.com. (7/01/2016). ¿Qué es la distribución desmodrómica? <http://www.blogmecanicos.com/2016/01/que-es-la-distribucion-desmodromica.html>

[48]. foro.clubjapo.com. (12/2011). Tipos de distribución desmodromica. <https://foro.clubjapo.com/t/tipos-de-distribucion-desmodromica/24686>

[49] uppers. Daniel Brito Luzardo. (04/10/2020). Ducati, de sus inicios lejos del motor a sus problemas económicos: la historia de la prestigiosa marca italiana

[https://www.uppers.es/motor-y-movilidad/motor/historia-de-ducati-be5m\\_18\\_3011670169.html](https://www.uppers.es/motor-y-movilidad/motor/historia-de-ducati-be5m_18_3011670169.html)

[50] Espiritud RACER. Ender. (26/10/2021). MOTO DEL DÍA: DUCATI CUCCILO

<https://motos.espirituracer.com/motodeldia/moto-del-dia-ducati-cucciolo/>



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

**Diseño y Fabricación de Maqueta didáctica  
del sistema de distribución desmosdromico de Ducati**



En Málaga, a 4 de SEPTIEMBRE de 2023

D.Cristian Pedraza Luque



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

**Diseño y Fabricación de Maqueta didáctica  
del sistema de distribución desmosdromico de Ducati**

