



**Universidad
Europea**

UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO

ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL

GRADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS

INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO DE UN MOTOR DE 2T PARA UNA
AERONAVE NO TRIPULADA**

Alumno: D. IÑIGO MUÑOZ GONZÁLEZ

Director: D. CARLOS ALBERTO TALAYERO

JUNIO 2023

TÍTULO: DISEÑO DE UN MOTOR DE 2T PARA UNA AERONAVE NO TRIPULADA

AUTOR: IÑIGO MUÑOZ GONZÁLEZ

DIRECTOR DEL PROYECTO: CARLOS ALBERTO TALAYERO

FECHA: 06 de junio de 2023

RESUMEN

Este proyecto engloba todas las tareas que se han de realizar para convertir un motor comercial de 2 tiempos alimentado por carburación, sin refrigeración activa y sin sistema de anclaje a un motor con inyección electrónica, control de temperatura activa y sistema de anclaje amortiguado.

Durante el desarrollo del proyecto se han realizado simulaciones fluido dinámicas para el análisis del cuerpo de admisión y simulaciones modales para el análisis del comportamiento del motor frente a las vibraciones. Además, se ha realizado un diseño CAD completo.

Palabras clave: Motores de 2T, UAV, Aeromodelismo, Inyección electrónica, Diseño CAD, Solidworks.

ABSTRACT

This project encompasses all the tasks to be carried out to convert a commercial 2-stroke carburettor-fuelled engine with no active cooling and no supporting system to an engine with electronic injection, active temperature control and damped anchoring system.

During the development of the project, fluid dynamic simulations have been carried out for the analysis of the intake manifold and modal simulations for the analysis of the engine's behaviour with regard to vibrations. In addition, a complete CAD design has been carried out.

Key words: 2 strokes engine, UAV, RC aircraft, Electronic fuel injection, CAD design, Solidworks.

Índice

RESUMEN	3
ABSTRACT	3
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	11
1.3 ESTRUCTURA DEL PROYECTO	12
Capítulo 2. Memoria	13
2.1 INTRODUCCIÓN	13
2.2 SELECCIÓN DEL BLOQUE MOTOR.....	13
2.2.1 ANÁLISIS DEL MERCADO	19
2.2.2 CONCLUSIONES	25
2.3 PARÁMETROS DEL MOTOR	26
2.3.1 PARÁMETROS GEOMÉTRICOS	26
2.3.2 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO.....	28
2.4 ADMISIÓN.....	32
2.4.1 CÁLCULOS PREVIOS	33
2.4.2 DISEÑO GEOMÉTRICO PRELIMINAR.....	34
2.4.3 SIMULACIÓN.....	37
2.4.4 CONCLUSIÓN	54
2.4.5 Selección de componentes	54
2.4.6 Diseño geométrico final	56
2.5 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	60
2.5.1 Introducción	60
2.5.2 Definición de geometrías	60
2.5.3 Selección de componentes	64
2.5.4 Diseño geométrico	64

2.6	SISTEMA DE AMORTIGUAMIENTO	69
2.6.1	Cálculo de amortiguamiento	70
2.6.2	Elección de componentes	73
2.6.3	Cálculo de los antivibratorios seleccionados	75
2.6.4	Diseño geométrico final	76
2.6.5	Análisis modal.....	79
2.6.6	Conclusiones.....	85
2.7	Sistema de encendido	85
2.8	SENSORES	86
2.8.1	Cylinder head sensor (CHT)	87
2.8.2	Modos de fallo de los sensores	91
2.9	Sistema de propulsión.....	92
2.9.1	Selección de la hélice	93
Capítulo 3.	CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO	94
	BIBLIOGRAFÍA	95
	ANEXO A: Plan de gestión de riesgos.....	96
	Introducción	96
	Identificación de los riesgos	96
	Impacto del riesgo.....	96
	Probabilidad de riesgos.....	97
	Magnitud de riesgo	98
	Respuesta a los riesgos	98
	Anexo B: Control de la configuración	99
	Part number o número de pieza	99
	Tipo de pieza	99
	Proveedores	100
	Anexo C: PRESUPUESTO	101
	Etapa de diseño	101
	Componentes	102
	Elementos comerciales	102
	Elementos de diseño propio	104
	Anexo D: Planos	107
Capítulo 4.	Anexo E: Fichas técnicas.....	121

Índice de Figuras

Ilustración 1 - Fases motores 4 tiempos (Fuente: Wikipedia).....	14
Ilustración 2 - Componentes de un motor de 2T (Fuente: Autonocion.com).....	15
Ilustración 3 - Fases motor 2 tiempos (Fuente: Wikipedia)	16
Ilustración 4 - Componentes motor Wankel (Fuente: Wikipedia)	16
Ilustración 5 – Admisión motor Wankel (Fuente: Motor giga)	17
Ilustración 6 - Fase de compresión (Fuente: Motor giga)	17
Ilustración 7 - Fase de explosión (Fuente: Motor giga).....	17
Ilustración 8 - Fase de explosión (Fuente: Motor giga).....	18
Ilustración 9 - Vista isométrica 3W 56iB2 (Fuente: 3W modellmotoren).....	21
Ilustración 10 - Vista planta 3W 56iB2 (Fuente: 3W modellmotoren).....	21
Ilustración 11 - Vista lateral 3W 56iB2 (Fuente: 3W modellmotoren).....	21
Ilustración 12 - Vista isométrica 3W 55i CS (Fuente: 3W modellmotoren)	22
Ilustración 13 - lateral 3W 55i CS (Fuente: 3W modellmotoren).....	23
Ilustración 14 - Vista frontal 3W 55i CS (Fuente: 3W modellmotoren)	23
Ilustración 15 - Vista lateral DA 50(Fuente: Desert aircraft).....	24
Ilustración 16 - Vista frontal DA 50 (Fuente: Desert aircraft)	24
Ilustración 17 - Vista en planta DA 50(Fuente: Desert aircraft)	25
Ilustración 18 - Parámetros geométricos (Fuente: Motores de combustión interna alternativos)	26
Ilustración 19 - Velocidad lineal del pistón en función del ángulo de giro del cigüeñal	29
Ilustración 20- Velocidad lineal del pistón en función del ángulo de giro del cigüeñal	30
Ilustración 21- Velocidad lineal del pistón en función del ángulo de giro del cigüeñal	30
Ilustración 22 - Superposición de velocidades	31
Ilustración 23 - Influencia del carburador en la mezcla (Fuente: 2 strokes tuners handbook) ..	33
Ilustración 24 - Bloque motor	35
Ilustración 25 - Anclaje admisión	35
Ilustración 26 - Admisión Diseño 1.....	36
Ilustración 27 - Admisión Diseño 2.....	36
Ilustración 28 - Admisión Diseño 1 Vista isométrica	36
Ilustración 29 - Admisión Diseño 2 Vista isométrica	36
Ilustración 30 - Admisión preliminar + bloque motor	37
Ilustración 31 - Laminas de admisión.....	38
Ilustración 32 - Entrada laminas-cárter.....	38
Ilustración 33 - Análisis CFD de la admisión de un F1 (Fuente: Race tech).....	40
Ilustración 34 - Elementos de malla	43
Ilustración 35 Simulación 1 presiones.....	44
Ilustración 36 Simulación 1 velocidades	44
Ilustración 37 – simulación 1 vectores velocidad.....	45
Ilustración 38 Simulación 2 presiones.....	45
Ilustración 39 Simulación 2 velocidades	46

Ilustración 40 Simulación 2 vectores velocidad	46
Ilustración 41 Simulación 3 presiones.....	47
Ilustración 42 3 velocidades	47
Ilustración 43 Simulación 3 vectores velocidad	48
Ilustración 44 -Simulación 4 resultado presiones	48
Ilustración 45 Simulación 4 resultado velocidad.....	49
Ilustración 46 Simulación 4 vectores de velocidad	49
Ilustración 47 Simulación 5 presiones.....	50
Ilustración 48 Simulación 5 velocidades	50
Ilustración 49 Simulación 5 vectores velocidad	51
Ilustración 50 Simulación 6 presiones.....	51
Ilustración 51 Simulación 6 velocidades	52
Ilustración 52 Simulación 6 vectores velocidad	52
Ilustración 53 Simulación 1 transitorio	53
Ilustración 54 Simulación 2 transitorio	53
Ilustración 55 Simulación 3 transitorio	54
Ilustración 56 -Inyector MEV 38 (Fuente: MEV).....	55
Ilustración 57 - Servo Volz DA-15T (Fuente: VOLZ)	56
Ilustración 58 - Diseño final admisión	56
Ilustración 59 - Cuerpo de admisión vista isométrica	57
Ilustración 60 - Soporte filtro de aire	58
Ilustración 61 - Cazoleta de inyección.....	58
Ilustración 62 - Tornillo rosca-plástico polyfix 45	59
Ilustración 63 - Eje de admisión	59
Ilustración 64 - Palomilla admisión	59
Ilustración 65 - Parámetros sistema de refrigeración	61
Ilustración 66 Relación ángulo velocidad (Fuente: NACA 555)	61
Ilustración 67 - Resultados ensayo aletas (Fuente: NACA 555)	62
Ilustración 68 - Vista explosionada tobera de refrigeración	65
Ilustración 69 - Tobera refrigeración.....	66
Ilustración 70 - Soporte tobera	67
Ilustración 71 - Tornillo de fijación Accu Polyfix 45	67
Ilustración 72 - Palomilla de refrigeración	68
Ilustración 73 - Carenado bujía	68
Ilustración 74 - Restrictor de flujo.....	69
Ilustración 75 - Conjunto de amortiguación	70
Ilustración 76 - Grafico transmisibilidad de vibraciones	73
Ilustración 77 - Soportes antivibratorios (Fuente: Paulstra).....	73
Ilustración 78 - Antivibratorio de husillo (Fuente: RS componentes).....	74
Ilustración 79 - Dimensiones antivibratorios	75
Ilustración 80 - Separador de aluminio	77
Ilustración 81 - Cuaderna motor	78
Ilustración 82 – Cuaderna	79
Ilustración 83 - Condiciones de contorno	81
Ilustración 84 – Mallado.....	82

Ilustración 85 - Modo propio 1	83
Ilustración 86 - Modo propio 2	83
Ilustración 87 - Modo propio 3	84
Ilustración 88 - Modo propio 4	84
Ilustración 89 - Modo propio 5	85
Ilustración 90 - Encendido electrónico (Fuente: 3W modellmotoren)	86
Ilustración 91 - Mecanizado bujías cilindro.....	86
Ilustración 92 - Rango y tolerancia de los termopares (Fuente: TC medida y control)	88
Ilustración 93 - Rango y precisión PT100 (Fuente: TC medida y control)	89
Ilustración 94 - Ubicación de la CHT.....	90
Ilustración 95 - PT100 de tipo vaina.....	90
Ilustración 96 - Termopozo CHT.....	91
Ilustración 97 Salarios convenio del metal.....	101

Índice de Tablas

Tabla 1 - Matriz de decisión tipo de motor	18
Tabla 2 - Requerimientos técnicos	19
Tabla 3 - Parámetros 3W 56i B2 CS	20
Tabla 4 - Parámetros 3W 55i CS	22
Tabla 5 - Parámetros DA50	24
Tabla 6 - Matriz de decisión motores.....	25
Tabla 7 - Tipos de motor en función de la ratio S/D	27
Tabla 8 - Atmosfera ISA.....	31
Tabla 9 - Resumen de las simulaciones	39
Tabla 10 – Resumen resultados simulación	53
Tabla 11 - Características técnicas inyector	54
Tabla 12 - Comparativa antivibratorios.....	74
Tabla 13 - Etapa simple paulstra	75
Tabla 14 - Etapa doble Paulstra.....	75
Tabla 15 - Etapa simple RSPRO	76
Tabla 16 - Etapa doble RS PRO	76
Tabla 17 - Frecuencias del motor	80
Tabla 18 - Condiciones de contorno.....	80
Tabla 19 - Modos propios.....	82
Tabla 20 - Características sensor de temperatura	87
Tabla 21 - Evaluación de los fallos.....	91
Tabla 22 - Modos de fallo sensores.....	92
Tabla 23 - Selección de hélice	93
Tabla 24 - Factores de riesgo	96
Tabla 25 - Impacto del riesgo	97
Tabla 26 - Magnitud de los riesgos	98
Tabla 27 - Acciones para los riesgos.....	98
Tabla 28 – Coste horario	101
Tabla 29 – Tabla de partidas de diseño.....	102

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la última década las aeronaves no tripuladas están ganando protagonismo, esto se debe a que reducen de manera significativa los costes operativos con respecto a las aeronaves tradicionales y el riesgo para las personas.

El principal objetivo de una aeronave no tripulada es contar con una carga de pago adecuada para la tarea que se quiere desempeñar. Estas cargas de pago pueden ir desde una simple cámara de video para realizar video vigilancia, un sistema de apuntamiento laser o un LiDAR para la obtención de modelos digitales del terreno.

Estas Cualquiera de estas operaciones necesita que las aeronaves estén en el aire un gran número de horas, por lo que aumentar el MTBF es una tarea fundamental. Esto permitirá realizar mayor numero de vuelos y a su vez unos vuelos de mayor duración.

Hoy en día los motores comerciales para aeronaves no tripuladas tienen dos problemas fundamentales:

1. Los proveedores no son de garantía, esto se debe a que estos motores están más enfocados a la industria del aeromodelismo. Estos usuarios no necesitan un MTBF muy grande, ya que los vuelos que realizan rara vez superan la hora y se pueden permitir el realizar tareas de mantenimiento con frecuencia.
2. Elevado precio de los motores destinados a este tipo de aeronaves. Existen ciertas empresas que se dedican al desarrollo de motores para aeronaves no tripuladas, estas habitualmente desarrollan el motor para su plataforma aérea y posteriormente ofrecen el motor en su lista de productos. Debido a que estas empresas habitualmente no tienen un gran volumen de venta de estos componentes el precio suele ser desorbitado.

El alto precio y la baja fiabilidad ofrecen la oportunidad de desarrollar un motor que satisfaga estos dos principales problemas.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Este proyecto persigue diseñar un motor para una aeronave no tripulada y aumentar la fiabilidad de un motor comercial de 2T hasta un MTBF teórico de 500h. Este objetivo de alto nivel lleva implícitos una serie de objetivos específicos que se deben de cumplir para llegar al objetivo final. Estos objetivos son:

- Asegurar el funcionamiento del motor dentro de los límites de temperatura facilitados por el fabricante.

- Tener la capacidad de funcionar sin importar las condiciones meteorológicas (presión, temperatura, humedad, densidad de aire...)
- Redundar los sistemas considerados críticos.
- Aislar la plataforma aérea de las vibraciones procedentes del motor.

1.3 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El proyecto debe de seguir un orden lógico, es decir, avanzar de tal forma que las decisiones ya adoptadas no tengan impacto en las decisiones por adoptar. Esto facilitará el avance del proyecto minimizando los posibles retrabajos y aumentando la productividad.

La memoria del proyecto va a contar con los siguientes capítulos:

1. Introducción, aquí se introducirá en lo que consistirá la memoria del proyecto.
2. Selección del bloque motor, este capítulo es fundamental para lograr el cumplimiento de los objetivos definidos. Se realizará una introducción a los distintos tipos de motores actuales y se seleccionará el más adecuado para el objetivo de este proyecto.
3. Parámetros del motor, una vez seleccionado se analizarán las capacidades que ofrece el motor seleccionado.
4. Admisión, este capítulo aborda el primer diseño del proyecto. Se realizará un primer diseño conceptual realizando unos cálculos previos. Con este diseño preliminar se realizarán unas simulaciones CFD para comprobar el buen funcionamiento fluido dinámico del sistema. Por último, se seleccionarán los componentes y se hará el diseño final.
5. Sistema de refrigeración, se hará el diseño de una tobera dinámica de refrigeración partiendo de un *paper* de la NACA. Además, se realizará la selección de componentes para su funcionamiento.
6. Sistema de amortiguamiento, el motor debe de absorber las vibraciones procedentes del giro. Esto se solucionará calculando la amplificación al régimen más perjudicial.
7. Sensores, se deben de controlar ciertos parámetros del motor, es por ello por lo que se deben de seleccionar los sensores necesarios para realizar este control.

Estos serán los capítulos fundamentales que se abordarán en este proyecto, estos capítulos se consideran suficientes para justificar el diseño final del producto.

Capítulo 2. Memoria

2.1 INTRODUCCIÓN

Para dar cumplimiento a los objetivos anteriormente enumerado será necesario realizar una serie de cálculos y diseños. Estos, se deben de realizar siguiendo un orden específico, para que las interacciones entre los componentes tengan el menor impacto posible.

El primer paso debe de ser la selección del bloque motor desde el que se partirá. Una vez definido se seguirá el siguiente orden:

1. Admisión
2. Conducto de refrigeración
3. Soporte de motor
4. Sistema de escape
5. Sistema eléctrico

En cada uno de estos temas se tratará desde los cálculos iniciales hasta el diseño final del producto y por último se tendrá un producto final que será la combinación de todos los anteriores.

2.2 SELECCIÓN DEL BLOQUE MOTOR

En la actualidad existen 3 tipos de motores de combustión que podrían satisfacer los requisitos de este proyecto. Estos motores son:

1. Motores alternativos de 4 tiempos

En estos motores el ciclo de trabajo se completa en 2 vueltas de cigüeñal o lo que es lo mismo en cuatro carreras completas, de ahí su nombre. En cada una de las carreras se llevan a cabo uno de los siguientes procesos:

- Fase de admisión esta primera carrera va desde el punto muerto superior (PMS) hasta el punto muerto inferior (PMI) en este proceso la (s) válvula(s) de admisión estará(s) abierta(s) y la(s) de escape cerradas. Esto provoca una depresión en el interior del cilindro lo cual facilita la entrada de gases por el conducto de admisión. Estos gases serán aire o aire y combustible dependiendo del motor. Cuando el pistón llega al PMI la(s) válvula(s) de admisión se cierran.
- Fase de compresión con las válvulas de admisión y escape cerradas el pistón se mueve desde el PMI hasta el PMS comprimiendo el fluido contenido en el cilindro. En las cercanías del PMS se produce el salto de la chispa por medio de la bujía en los motores de encendido provocado o se produce la inyección en los motores de encendido por compresión.

- Fase de expansión la combustión de la mezcla de aire y combustible produce una expansión que desplaza el pistón desde el PMS al PMI. En este desplazamiento es en el que se libera el trabajo.
- Fase de escape cuando el pistón llega al PMI la válvula de escape se abre y el pistón comienza su recorrido hacia el PMS expulsando los gases por el conducto de escape. Cuando el pistón llega al PMS la válvula se cierra y comienza la fase de admisión.

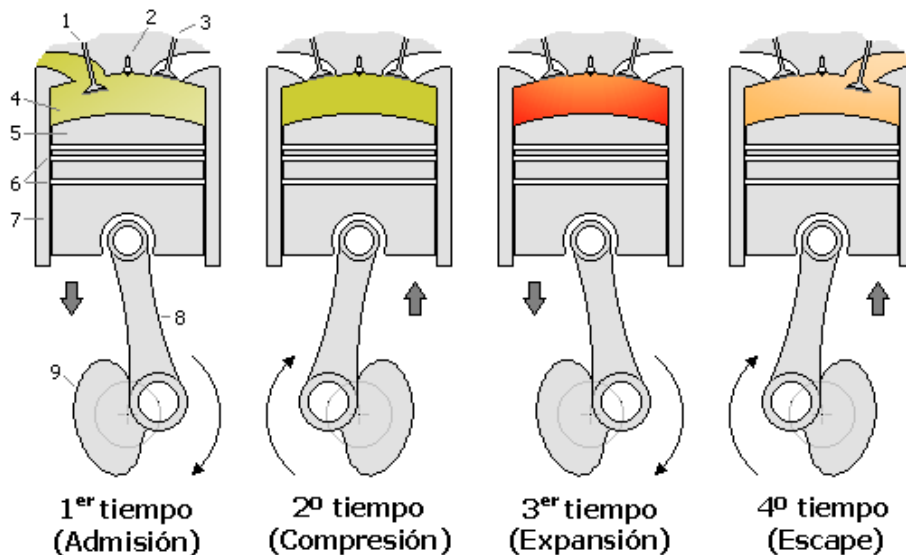


Ilustración 1 - Fases motores 4 tiempos (Fuente: Wikipedia)

Este tipo de motores es el más usado hoy en día por lo que tiene un nivel de desarrollo muy importante y una fiabilidad demostrada a lo largo de los años. Sin embargo, para el caso de aplicación de un avión no tripulado de pequeñas dimensiones muestra una serie de inconvenientes:

- Tiene un alto número de componentes lo que hace el aumento de su peso
- No se han hecho desarrollos importantes en motores de tamaño reducido, esto hace que la fiabilidad de los motores disminuya mucho
- Alto coste económico

2. Motores alternativos de 2 tiempos

Este tipo de motores tiene la característica que el ciclo se completa en solo dos carreras del pistón o lo que es lo mismo en 360° de giro de cigüeñal. Los procesos son los mismos que en un motor de 4 tiempos, pero con menor duración angular. En este tipo de motores los procesos de admisión y escape suceden prácticamente al mismo tiempo, en lo que se conoce como proceso de barrido. En el proceso de admisión los gases provenientes del conducto de admisión expulsan los gases del cilindro. Esto se produce ya que los gases de escape tienen menos presión.

Las fases de compresión y explosión se comportan de igual manera que un motor de 4 tiempos.

En la fase de expansión los gases de escape se expulsan mucho antes que, en un motor de 4 tiempos, esto ocurre o bien por la apertura de una válvula de escape o por las lumbreras de escape, aperturas practicadas en el cilindro.

Antes de llegar al PMI comienza la fase de admisión por las válvulas o las lumbreras de admisión. En ocasiones es necesario que los gases procedentes de la admisión pasen por un compresor o por el cárter del motor que hará de compresor, esto aumenta la presión de dichos gases y le facilita la entrada al motor.

Este tipo de motores no se emplea en la actualidad globalmente ya que son motores no muy eficientes y tienen unos altos niveles de emisiones. Pero presentan una serie de ventajas para la aplicación de avión no tripulado:

- Menor numero de componentes, lo que implica menor peso total.
- Mayor desarrollo para motores de pequeña cilindrada.
- Facilidad de mantenimiento.
- Bajo coste

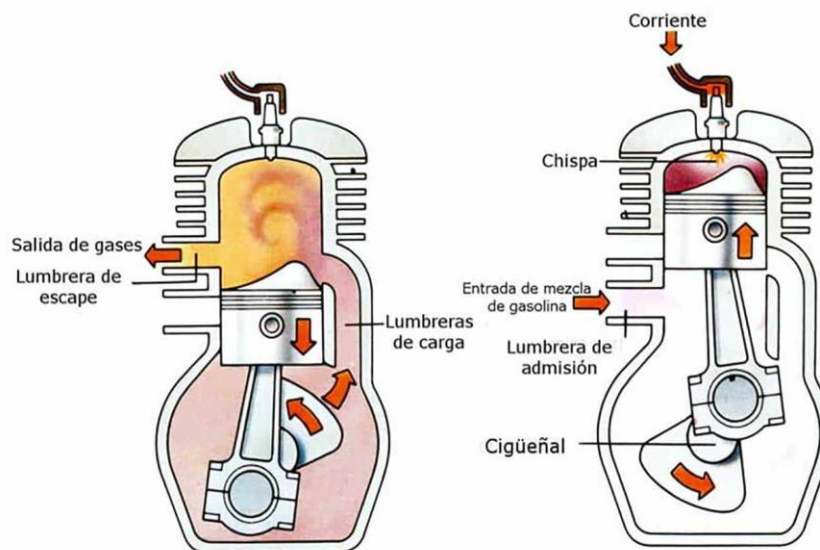


Ilustración 2 - Componentes de un motor de 2T (Fuente: Autonocion.com)

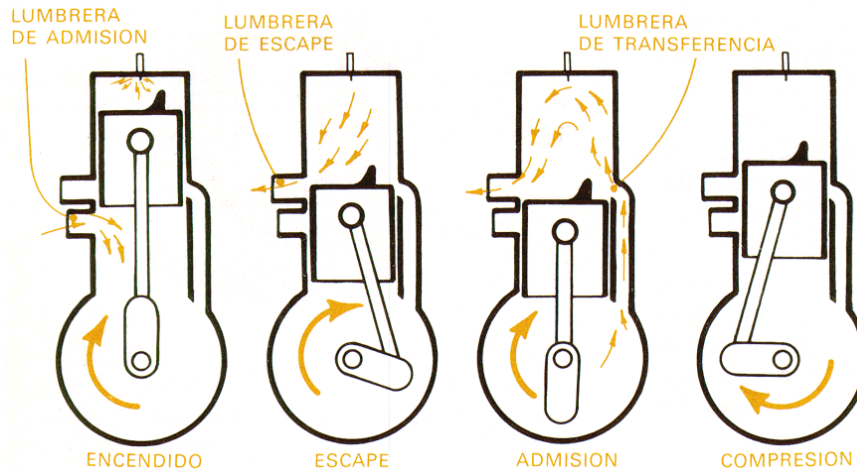
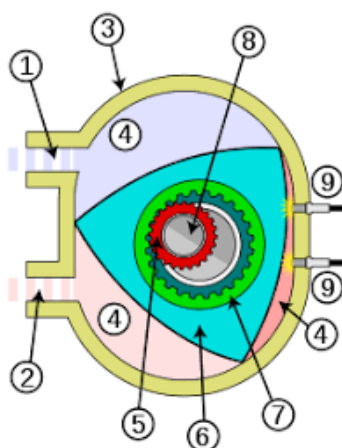


Ilustración 3 - Fases motor 2 tiempos (Fuente: Wikipedia)

3. Motores rotativos tipo Wankel

Los motores de tipo Wankel tienen un funcionamiento completamente distinto a los motores alternativos, los motores Wankel realizan los 4 ciclos sin tener detenciones y cambios de sentido. Esto es posible gracias a su geometría se compone de una cavidad en forma de 8 y un rotor triangulo-lobular que realiza un giro excéntrico dentro de la cavidad. Este rotor transmite el movimiento hacia el cigüeñal el cual gira en torno a un solo centro. El rotor sigue un camino que hace que sus vértices estén siempre en contacto con la cavidad del bloque motor.

A medida que el rotor va girando se van produciendo cada una de las fases en cada una de las 3 cavidades disponibles.



1. Lumbrera de admisión
2. Lumbrera de escape
3. Bloque motor (estator)
4. Cámaras
5. piñón
6. Rotor
7. Corona
8. Eje excéntrico
9. Bujías

Ilustración 4 - Componentes motor Wankel (Fuente: Wikipedia)

El ciclo de los motores Wankel es el mismo que en los motores alternativos de 4T

1. Fase admisión los gases de admisión entran por la lumbrera absorbidos por la depresión producida en la cámara.

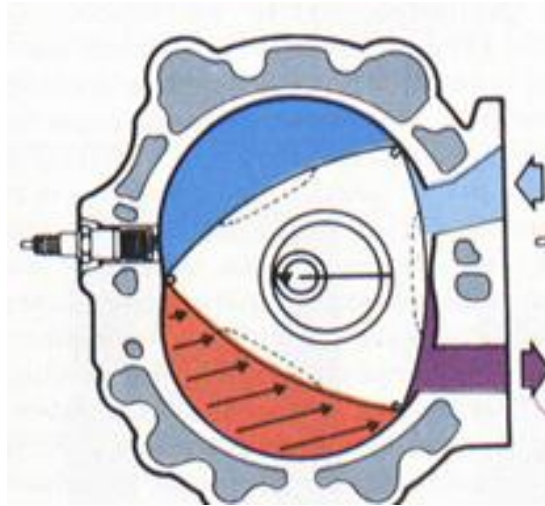


Ilustración 5 – Admisión motor Wankel (Fuente: Motor giga)

2. Fase de compresión mediante el giro excéntrico se disminuye el volumen dentro de la cavidad del bloque motor.

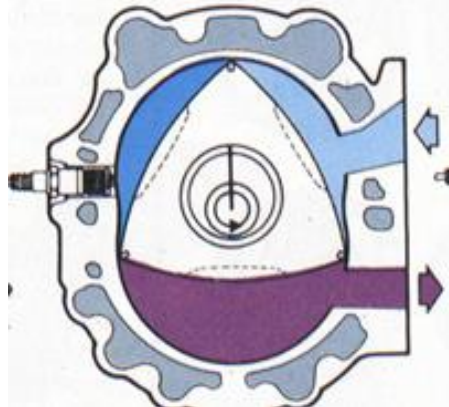


Ilustración 6 - Fase de compresión (Fuente: Motor giga)

3. Fase de explosión en esta fase la bujía provoca la explosión de los gases mas el combustible. En esta fase es en la que se produce el trabajo.

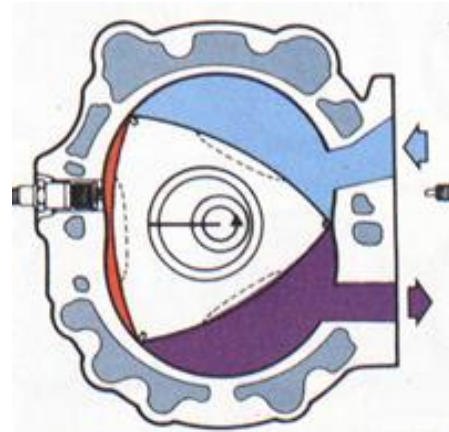


Ilustración 7 - Fase de explosión (Fuente: Motor giga)

4. Fase de escape los gases salen del estator a través de la lumbrera de escape.

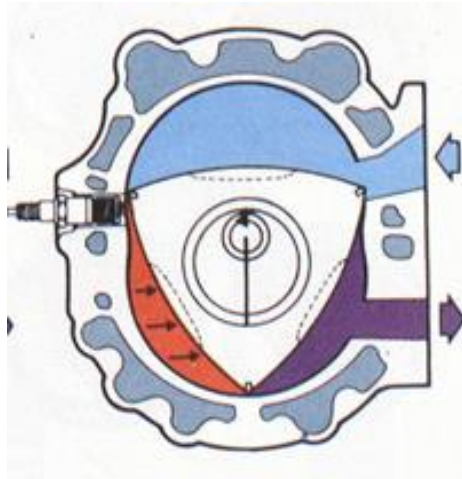


Ilustración 8 - Fase de explosión (Fuente: Motor giga)

Estos motores han sido empleados en vehículos ligeros, aeronaves ligeras y en la alta competición de automovilismo. Son motores que ofrecen una gran eficiencia ya que consiguen la misma potencia a menos revoluciones del motor debido a esto se puede reducir el tamaño, reduciendo el peso de manera significativa, por el contrario, son motores muy difíciles de mantener, con un alto desgaste debido al rozamiento constante y tienen el inconveniente del gasto continuo de aceite.

Una vez analizados los distintos tipos de motores de combustión existentes se debe de seleccionar el tipo que sea más adecuado para una aeronave no tripulada de 20kg de masa máxima. Los factores para tomar esta decisión son:

- Peso del motor + componentes auxiliares (4)
- Fiabilidad (3)
- Coste (2)
- Oferta de motores en el mercado (1)

Estos factores se han ponderado con una escala de 1 a 4 con el fin de encontrar cual de los tres tipos de motor es más adecuado.

Tabla 1 - Matriz de decisión tipo de motor

	Motor 4T	Motor 2T	Motor Wankel
Peso total	4	12	8
Fiabilidad	6	9	3
Coste	4	6	2
Oferta	2	3	1
Total	16	30	14

Una vez analizada la matriz de decisión se ha observado que la solución mas adecuada es el motor alternativo de 2T. El próximo paso consiste en analizar el mercado para encontrar cual es el motor con las mejores características para la aplicación del proyecto.

2.2.1 ANÁLISIS DEL MERCADO

Como se ha determinado en el capítulo anterior el motor mas adecuado es el motor alternativo de 2 tiempos. Este tipo de motores es muy común en el mundo del aeromodelismo por lo que existen una gran cantidad de fabricantes. Estos fabricantes no ofrecen mucha información por lo que estos se descartan por la falta de información facilitada.

Se pretende que el motor este destinado a para aeronaves de hasta 20kg MTOW (Maximum take off weight o peso máximo al despegue) por lo que para ello se necesita una potencia de entorno a los 4 KW.

Con el objetivo de influir lo mínimo posible en el peso total de aeronave se pretende buscar el motor que tenga el menor peso posible cumpliendo con los siguientes requisitos.

Tabla 2 - Requerimientos técnicos

Parámetro	Valor
Potencia	<4 KW
Peso	>3Kg
Dimensiones	Ancho < 150mm
	Largo < 200mm
	Alto < 200mm
WOT (Wide Open Throttle) (RPM)	8500*
	7000*
Crucero (RPM)	4000
Ralentí (RPM)	1500
	3700
Temperatura continua de operación (°C)	150
Máxima temperatura de operación(°C)	215
Refrigeración	Por aire

*Sin hélice

Además de estos requisitos será deseable que el fabricante ofrezca algún tipo de documentación adicional, como puede ser planes de mantenimiento, plan de rodaje de motor o curvas de potencia.

Teniendo en cuenta todos los factores se ha hecho una selección de 3 motores.

2.2.1.1 3W – 56I B2 CS

El 3W – 56i B2 CS es un motor bóxer bicilíndrico de 2T con una cilindrada de 55cc, que desarrolla una potencia de 3.31 KW declarada por el fabricante.

El mayor beneficio de los motores bóxer es que son capaces de minimizar las vibraciones ya que están mas equilibrados que los motores de un solo cilindro. Por el contrario el aumento de cilindros implica mas peso en subsistemas (sistemas de encendido, sistemas de refrigeración...) además que, no todas las plataformas aéreas tienen la capacidad de montar un motor bicilíndrico bóxer por la disposición de los cilindros y la refrigeración de estos.

Cuenta con las siguientes características:

Tabla 3 - Parámetros 3W 56i B2 CS

Parámetro	Valor
Potencia	3.31 KW
Peso	1850g
Dimensiones	Ancho 265mm
	Largo 210mm
	Alto 70mm
WOT (Wide Open Throttle) (RPM)	8500
Crucero (RPM)	NA
Ralentí (RPM)	1500
Temperatura continua de operación (°C)	100-250
Máxima temperatura de operación(°C)	250
Refrigeración	Por aire

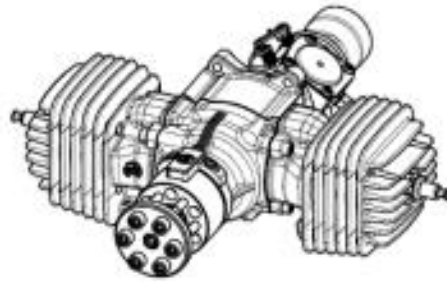


Ilustración 9 - Vista isométrica 3W 56iB2 (Fuente: 3W modellmotoren)

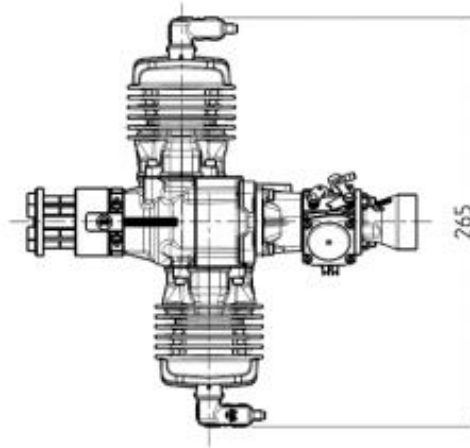


Ilustración 10 - Vista planta 3W 56iB2 (Fuente: 3W modellmotoren)

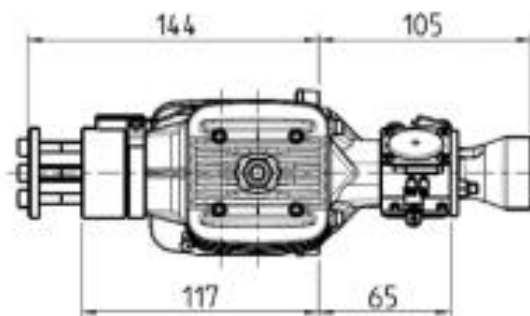


Ilustración 11 - Vista lateral 3W 56iB2 (Fuente: 3W modellmotoren)

2.2.1.2 3W – 55i CS

El 3W – 55i CS es un motor mono cilíndrico de 2T con una cilindrada de 55cc y una potencia declarada por el fabricante de 4KW. Es el motor más popular de la conocida fábrica de motores alemana 3W Modellmotoren. Este motor es muy utilizado en aeromodelismo acrobático ya que posee una gran potencia con un peso muy reducido.

Tabla 4 - Parámetros 3W 55i CS

Parámetro	Valor
Potencia	4 KW
Peso	1790g
Dimensiones	Ancho 100mm
	Largo 258mm
	Alto 200mm
WOT (Wide Open Throttle) (RPM)	8500
Crucero (RPM)	NA
Ralentí (RPM)	1500
Temperatura continua de operación (°C)	100-250
Máxima temperatura de operación(°C)	250
Refrigeración	Por aire

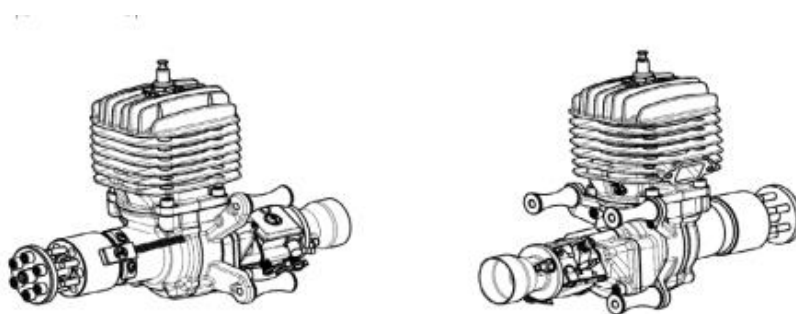


Ilustración 12 - Vista isométrica 3W 55i CS (Fuente: 3W modellmotoren)

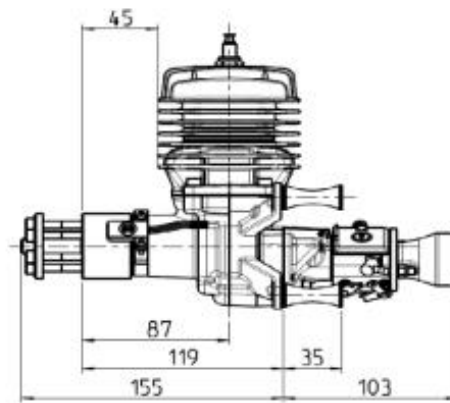


Ilustración 13 - lateral 3W 55i CS (Fuente: 3W modellmotoren)

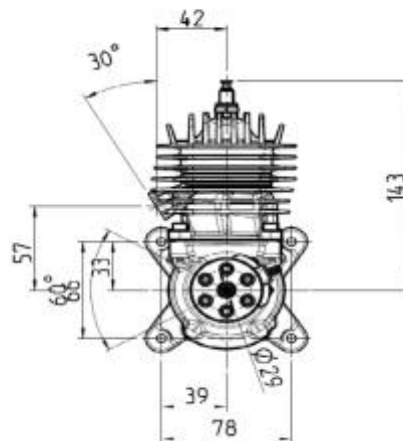


Ilustración 14 - Vista frontal 3W 55i CS (Fuente: 3W modellmotoren)

2.2.1.3 DA-50

El DA – 50 es un motor monocilindrico 2T de 50cc del fabricante americano Desert Aircraft. Cuentan con mas de 15000 motores fabricados y vendidos por todo el mundo y su principal característica es el reducido peso que ofrece.

Tabla 5 - Parámetros DA50

Parámetro	Valor
Potencia	-
Peso	1330g
Dimensiones	Ancho 120mm
	Largo 230mm
	Alto 210mm
WOT (Wide Open Throttle) (RPM)	-
Crucero (RPM)	-
Ralentí (RPM)	-
Temperatura continua de operación (°C)	-
Máxima temperatura de operación(°C)	-
Refrigeración	Por aire

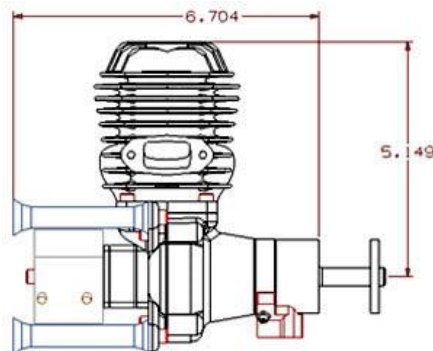


Ilustración 15 - Vista lateral DA 50(Fuente: Desert aircraft)

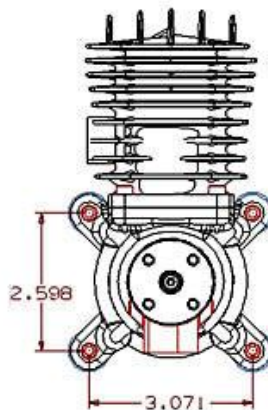


Ilustración 16 - Vista frontal DA 50 (Fuente: Desert aircraft)

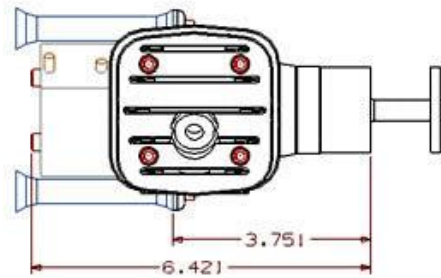


Ilustración 17 - Vista en planta DA 50(Fuente: Desert aircraft)

2.2.2 CONCLUSIONES

Después de realizar el análisis de los distintos tipos de motores que existen hoy en día y habiendo determinado que el motor alternativo de 2T es el más adecuado para la aplicación de este proyecto, se ha analizado el mercado para ver las posibles soluciones y seleccionar la más adecuada. De los 3 motores que seleccionados por sus características se ha elegido el 3W 55i CS esta decisión se ha tomado con la ayuda de una matriz de decisión. Esta matriz ha tenido en cuenta la potencia, el peso, el tamaño, la documentación aportada por el fabricante y la experiencia del fabricante.

Tabla 6 - Matriz de decisión motores

	3W 56i B2	3W 55i CS	DA 50
Potencia (2)	4	6	2
Peso (2)	2	4	6
Tamaño (1)	1	2	2
Documentación (2)	6	6	2
Experiencia (1)	2	2	2
Total	15	20	14

2.3 PARÁMETROS DEL MOTOR

2.3.1 PARÁMETROS GEOMÉTRICOS

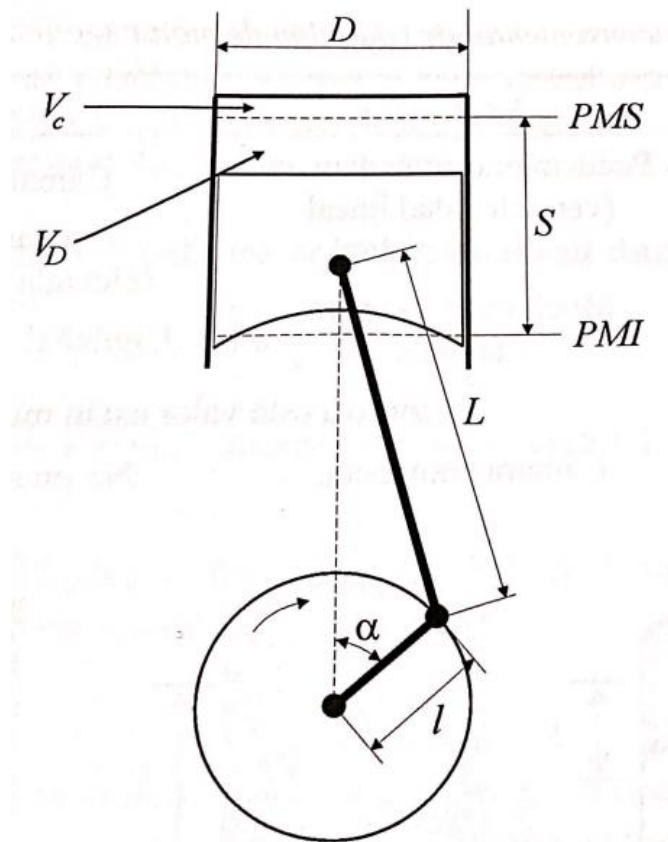


Ilustración 18 - Parámetros geométricos (Fuente: Motores de combustión interna alternativos)

- **Diámetro del cilindro**
Junto con la carrera es el parámetro que mejor define el tamaño del motor, este diámetro siempre es ligeramente superior al diámetro del pistón, esto posibilita el desplazamiento de uno dentro del otro minimizando la resistencia debida al rozamiento. A pesar de que estos dos valores no son exactos se empleara el diámetro (D) como valor para la realización de los cálculos.
En el caso del motor seleccionado el diámetro del cilindro es de 45mm.
- **Carrera**
El pistón realiza un movimiento lineal entre dos posiciones conocidas como punto muerto superior (PMS) y punto muerto inferior (PMI). El punto muerto superior se encuentra en el punto donde la velocidad el motor es cero y esta más próximo a la culata. El punto muerto inferior es la zona más próxima al cigüeñal donde la velocidad es cero.
La carrera es la distancia entre ambos puntos o lo que es lo mismo dos veces la distancia de la muñequilla (l).
En el motor seleccionado la carrera (S) son 35mm.
- **Relación carrera diámetro**
Es una relación que permite la clasificación de los motores en 3 grupos:

Tabla 7 - Tipos de motor en función de la ratio S/D

Denominación	S/D	Ventajas	Inconvenientes
Supercuadrados	<1	Motores rápidos, es decir, de altas RPM.	Camara de combustión poco compacta
Cuadrados	=1	Valor habitual para los motores	
Alargados	>1	Cámara de combustión compacta.	Motores más lentos, bajas RPM.

En el motor seleccionado esta relación es de 1.286. Por lo que es un motor alargado.

- Longitud de la manivela (l)
Esta longitud equivale a la mitad de la carrera del pistón. Este elemento permite que el movimiento longitudinal del pistón se convierta en un movimiento circular en el cigüeñal.
- Longitud de la biela (L)
Es el elemento que une el pistón con la muñequilla. En el momento del diseño se suele intentar minimizar la dimensión de este elemento con el objetivo de reducir al máximo la altura total del motor, con la precaución de que las faldillas de los pistones no colisionen con el cigüeñal.

Su longitud suele dimensionarse con la carrera de la ecuación 1:

$$\lambda = \frac{l}{L} = \frac{S/2}{L} < \frac{1}{2} \quad (1)$$

- Sección del pistón
Este parámetro tiene una importancia fundamental ya que es el área sobre la cual los gases pueden ejercer presión y por lo tanto trabajo. En los cálculos teóricos de potencia este parámetro tiene una importancia fundamental. Se calcula con la siguiente ecuación 2:

$$A_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0.0015m^2 \quad (2)$$

- Volumen de la cámara de combustión
- Cilindrada unitaria

Equivale al volumen que desplaza el cilindro entre PMS y PMI. Se calcula:

$$V_D = A_p \cdot S = 5.56651E - 0.5m^3 \quad (3)$$

- Relación de compresión
Equivale al cociente entre el volumen máximo y el volumen de la cámara de combustión.

$$r = \frac{V_{max}}{V_{min}} \quad (4)$$

2.3.2 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

- Régimen
El régimen de giro (n) es el numero de revoluciones por unidad de tiempo y con este parámetro se determina la frecuencia de repetición de los ciclos. La unidad mas utilizada para medir este parámetro son las revoluciones por minuto (RPM) pero no son del sistema internacional.

Para abarcar al máximo todos los regímenes del motor en los cálculos se van a tomar 3 regímenes distintos:

- Ralentí 3000RPM
 - Crucero 4500RPM
 - Plena carga o wide open throttle (WOT) 7000
- velocidad media del pistón
Este valor es muy interesante para comparar motores entre sí, ya que según el régimen de motor es muy complicado debido a que el rango es muy amplio. Este parámetro emplea la carrera por lo que se pueden comparar motores de tamaños muy diferentes. Se calcula como:

$$C_m = 2 \cdot S \cdot n \quad (5)$$

- 3000RPM $C_m=3.5\text{m/s}$
 - 4500RPM $C_m=5.25\text{m/s}$
 - 7000RPM $C_m=8.17\text{m/s}$
-
- Velocidad de pistón
Es la velocidad del pistón para cada punto del recorrido, esto nos permite ver como aumenta y disminuye la velocidad en función de su posición. Los valores se obtienen con la siguiente ecuación (6):

$$V_{yB} = -R\omega \frac{\text{Sen}(\alpha + \beta)}{\text{Cos} \beta} \quad (6)$$

- 3000 RPM

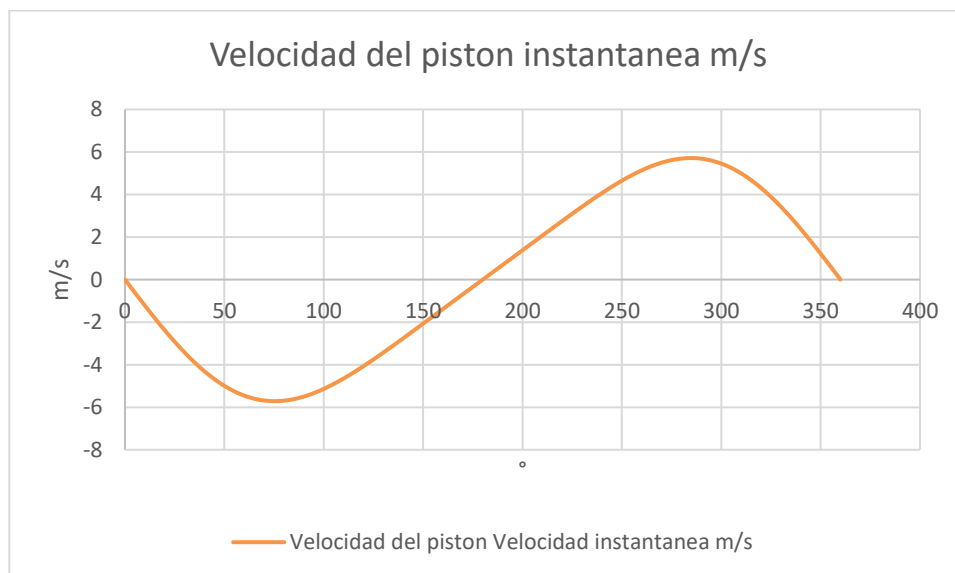


Ilustración 19 - Velocidad lineal del pistón en función del ángulo de giro del cigüeñal

- 4500 RPM

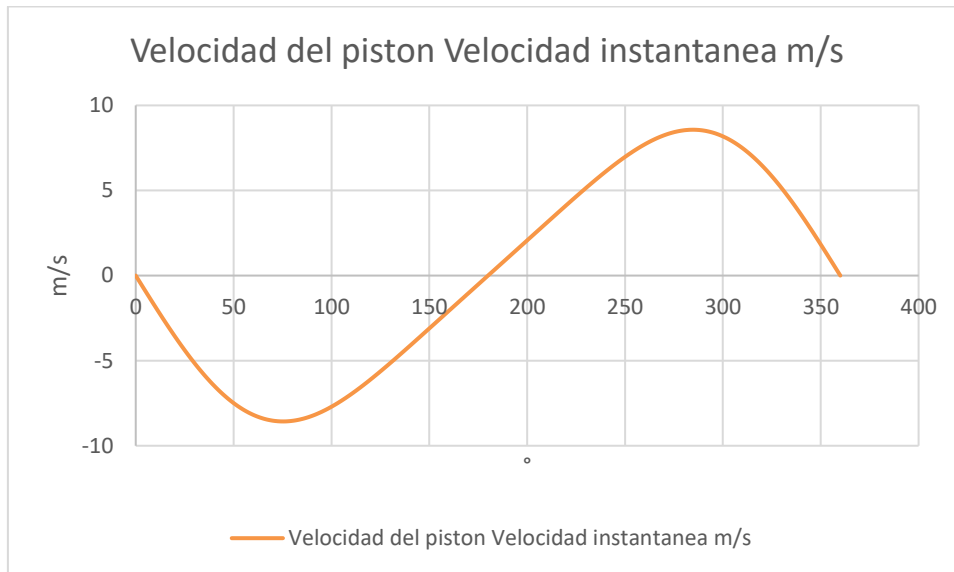


Ilustración 20- Velocidad lineal del pistón en función del ángulo de giro del cigüeñal

- 7000 RPM

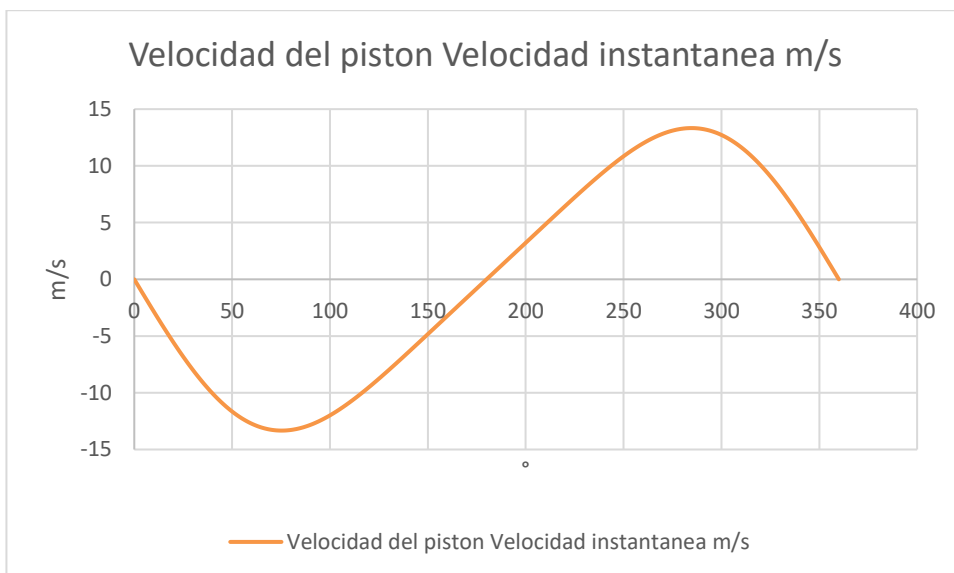


Ilustración 21- Velocidad lineal del pistón en función del ángulo de giro del cigüeñal

Comparando las 3 graficas se puede observar cómo afecta el régimen de giro a la velocidad lineal del pistón.

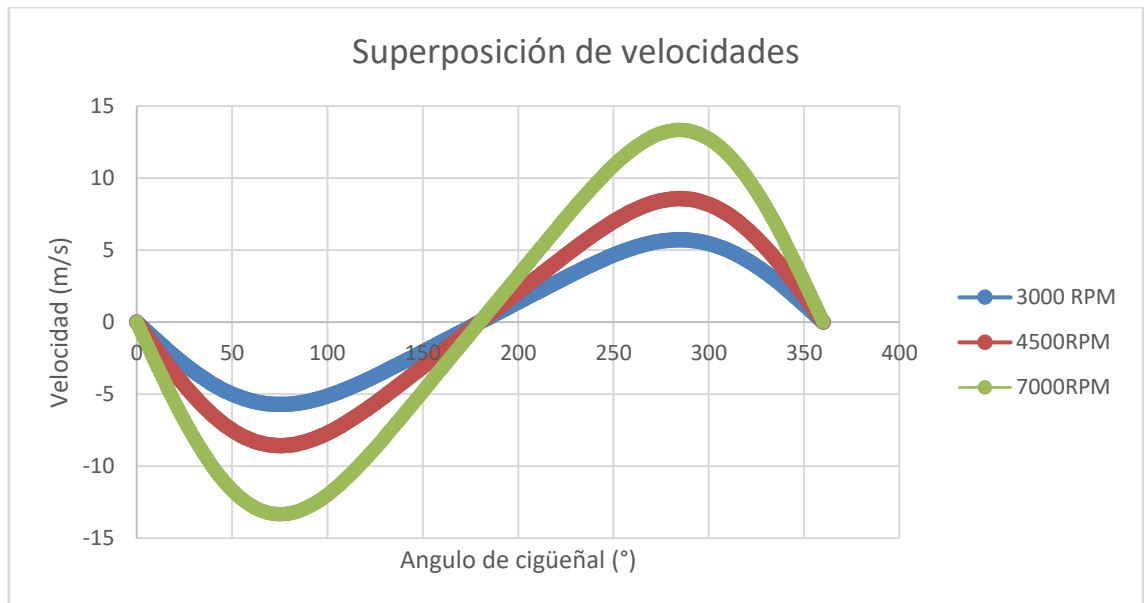


Ilustración 22 - Superposición de velocidades

- Rendimiento volumétrico

El rendimiento volumétrico es la relación entre el gasto máximo de aire con el gasto real de aire. Este valor solo se puede obtener de forma empírica por lo que no se dispone del valor por el momento.

Para la realización de estos cálculos se deben definir unas condiciones atmosféricas de referencia. En el caso de un motor destinado a una aeronave se debe de coger las condiciones de la atmosfera ISA (international standard atmosphere) para la altitud de 0 ms.n.m

Tabla 8 - Atmosfera ISA

Capa	Altura MS.N.M	Gradiente térmico (K/Km)	Temperatura base (K)	Presión base (Pa)	Densidad base (kg/m ³)
Troposfera	0	-6.5	288.15	101325	1.250
Tropopausa	11000	0	216.65	22632	0.03639
Estratosfera	20000	+1	216.65	5474.9	0.0880

Pero se pueden obtener los valores teóricos para cada régimen.

3000 RPM

- Volumen por embolada = 0.0635 L
- Flujo volumétrico por embolada = 3.16 L/s
- Flujo másico = 0.00388 kg/s

4500 RPM

- Volumen por embolada = 0.0635 L
- Flujo volumétrico por embolada = 4.75 L/s
- Flujo másico = 0.00582 kg/s

7000 RPM

- Volumen por embolada = 0.0635 L
- Flujo volumétrico por embolada = 7.39 L/s
- Flujo másico = 0.00905 kg/s

2.4 ADMISIÓN

Este tipo de motores funciona comúnmente con carburadores, esto es debido a que su funcionamiento es completamente mecánico y no precisa de ningún tipo de electrónica para su funcionamiento.

El carburador es un dispositivo que dosifica el combustible (líquido) y lo mezcla con el aire, utilizando el efecto Venturi provocado por el aire que circula a través de un estrechamiento en el conducto de admisión. Este tipo de dispositivo ha sido utilizado de forma generalizada hasta la aparición de la inyección electrónica. Actualmente solo se emplean estos dispositivos en aquellos motores en los que prima la simplicidad y el coste al control de la mezcla y el dosado.

En un carburador solo varía la depresión generada por el aire aspirado por el motor, sin importar el régimen de giro de este. Por este motivo, los motores que funcionan con carburadores tienen una difícil optimización, ya que la mezcla no se puede adaptar al régimen y a la carga de motor. La mariposa, es el dispositivo que regula el flujo de aire del motor, esta está aguas abajo del carburador provocando que se tengan distintas pérdidas de carga según su posición. Es decir, un motor puede estar a 5000 R.P.M. con distintas posiciones de mariposa, por lo que el motor estará recibiendo distintos flujos de aire y combustible para ese régimen.

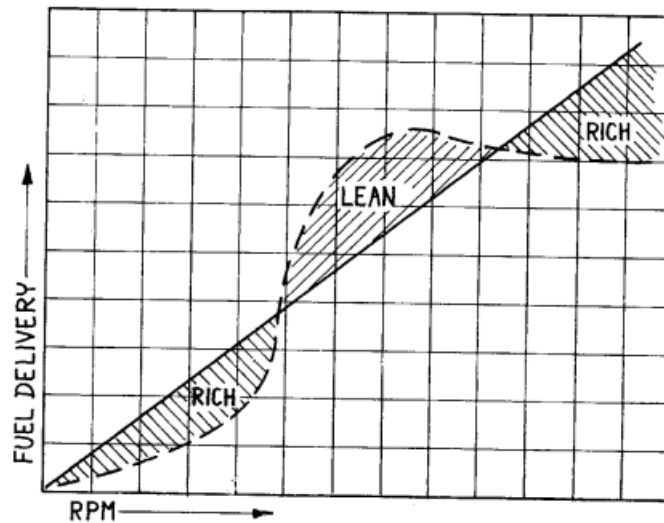


Ilustración 23 - Influencia del carburador en la mezcla (Fuente: 2 strokes tuners handbook)

Además, en la aeronáutica se tiene un problema adicional, un avión puede despegar de una altitud 0m ASL (above sea level) y en cuestión de minutos estar a 2000m ASL. Esta modificación de la altura tiene un impacto muy grande en la densidad del aire, por lo que la cantidad de oxígeno que entrará al motor se verá afectada y por lo tanto la mezcla y el dosado estequiométrico.

Para solucionar este problema se va a realizar el cálculo, diseño y la simulación de una admisión con inyección electrónica. Este dispositivo va a permitir al motor ajustar la mezcla a los distintos regímenes de motor consiguiendo un comportamiento estequiométrico durante toda la curva. Además, con ayuda de la sensorización se podrá modificar la curva para adaptarse a las variaciones en las condiciones atmosféricas.

2.4.1 CÁLCULOS PREVIOS

2.4.1.1 Cálculo de la válvula de mariposa

El punto de partida para el diseño de una admisión es la mariposa. Esta debe de tener unas medidas acordes para que su variación tenga impacto en el comportamiento del motor durante todo su recorrido desde el 0% de apertura de la mariposa hasta el 100%. Para calcular el diámetro correcto se debe de emplear la ecuación (7):

$$D = K \cdot \sqrt{C \cdot N} \quad (7)$$

D es el diámetro del conducto en mm

K es una constante. Su valor esta entre 0,8 para motores de pequeña cilindrada y 0,9 para motores de gran cilindrada.

C es el desplazamiento del motor en litros

N las revoluciones máximas que se quieren alcanzar.

Sustituyendo estos valores se obtiene:

$$D = 0.83 \cdot \sqrt{0.055 \cdot 7000} = 16.3mm \quad (8)$$

Se ha utilizado una K de 0,83 debido a que es la recomendada por el autor par motores de esta cilindrada.

2.4.2 DISEÑO GEOMÉTRICO PRELIMINAR

Con el objetivo de determinar la geometría de la admisión se ha comenzado haciendo un primer diseño que involucre los elementos que más restringen la geometría de este componente. Con el primer diseño preliminar se puede empezar la etapa de simulación para optimizar el diseño y obtener los mejores resultados posibles.

Para el diseño de la admisión el componente que más restringe la geometría es el cárter del bloque motor, esto es debido a que la admisión se debe de anclar en ese punto. Además, se cuenta con una serie de componentes que afectan al diseño, pero no son tan críticos ya que se pueden sustituir por otro elemento comercial que cumpla con estos requisitos.

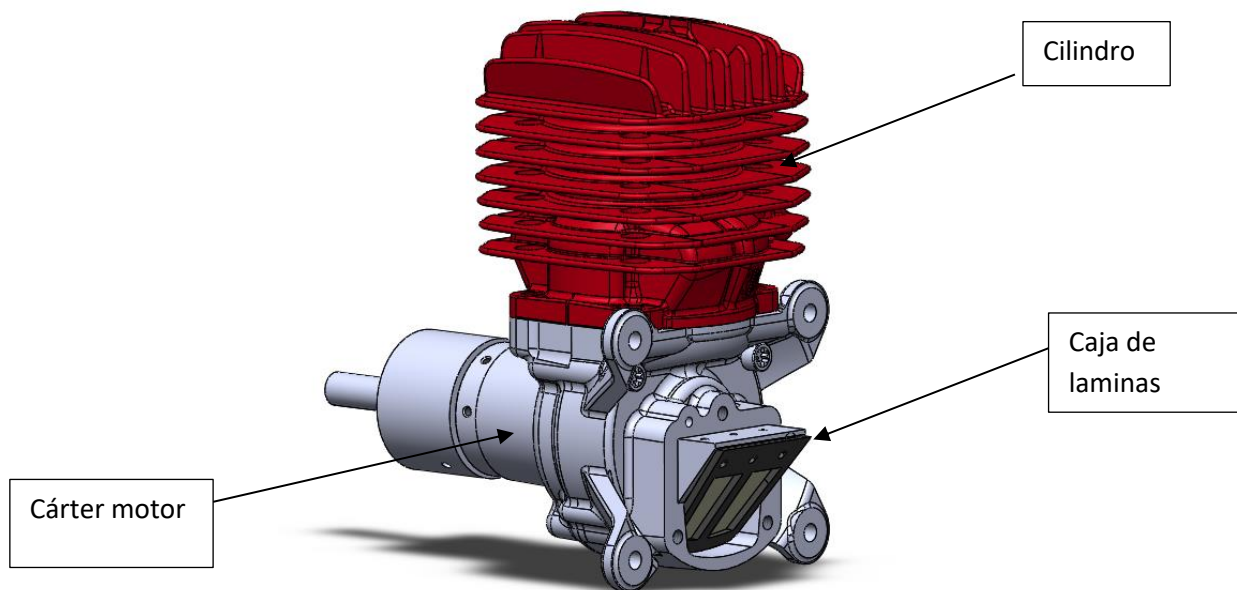


Ilustración 24 - Bloque motor

En la imagen anterior se puede ver el cárter con la caja de laminas y el cilindro. Estos son los únicos componentes que se emplearán del motor comercial. En el cárter se ubica la caja de laminas que es la entrada del aire procedente de la admisión.

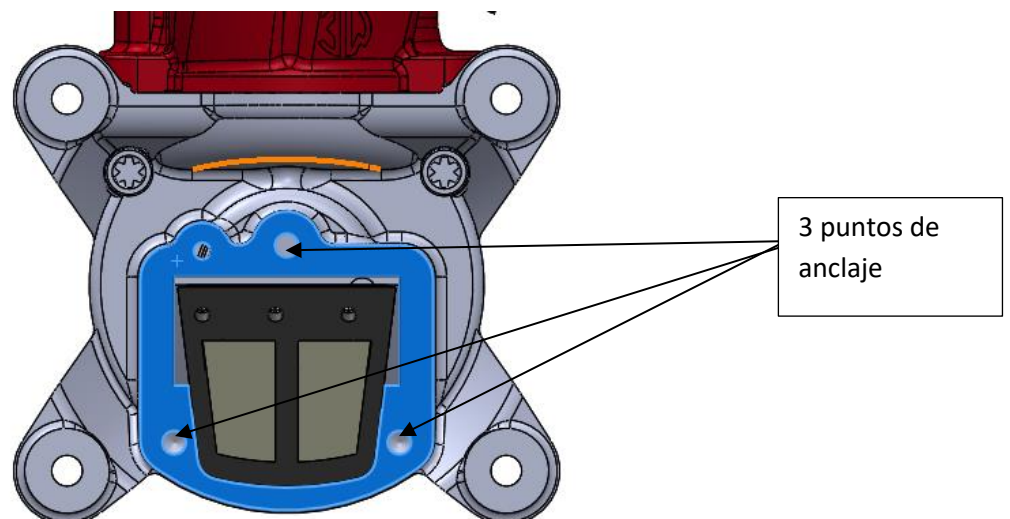


Ilustración 25 - Anclaje admisión

En la imagen anterior se muestran los 3 agujeros roscados (M5) en los que se soportará la admisión. Estos tres orificios y la superficie de la caja de laminas son el punto de partida para la admisión.

Respetando dichas geometrías y con el objetivo de mantener el tamaño lo más reducido posible se ha obtenido los siguientes diseños preliminares:

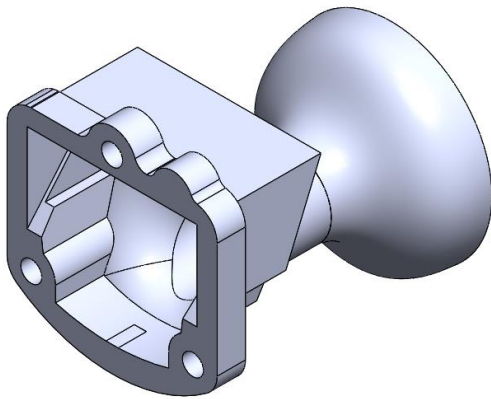


Ilustración 26 - Admisión Diseño 1

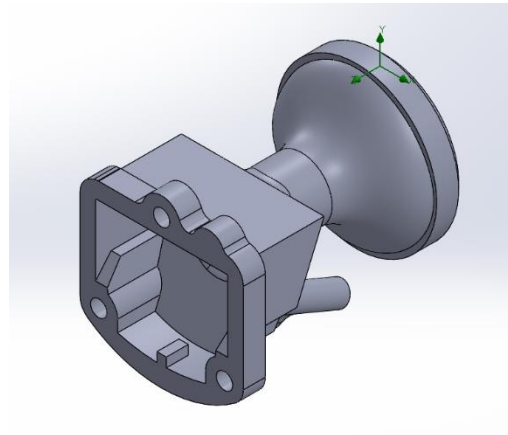


Ilustración 27 - Admisión Diseño 2

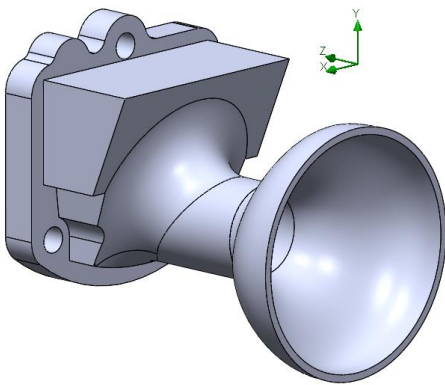


Ilustración 28 - Admisión Diseño 1 Vista isométrica

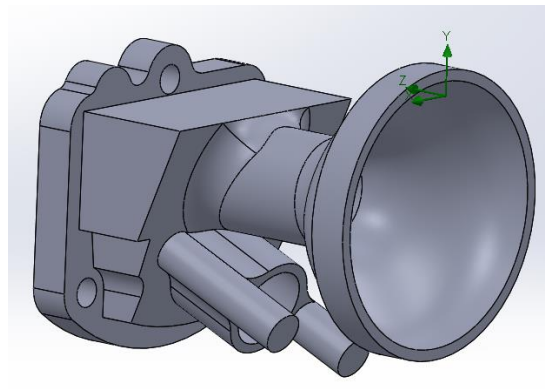


Ilustración 29 - Admisión Diseño 2 Vista isométrica

Se ha optado por realizar dos diseños distintos ya que se quiere comparar el impacto que tiene la situación de la tobera de admisión con respecto a la caja de láminas.

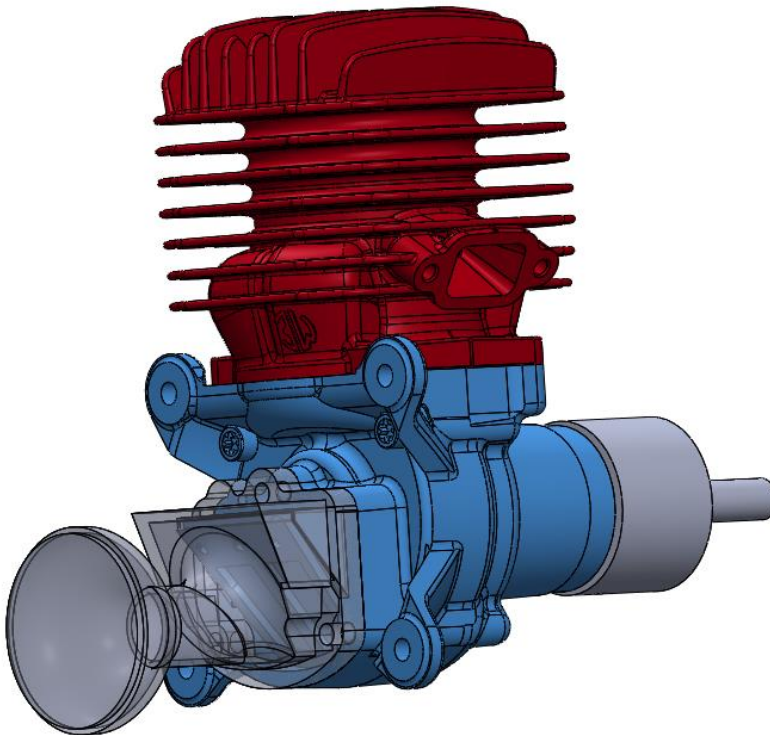


Ilustración 30 - Admisión preliminar + bloque motor

2.4.3 SIMULACIÓN

Al ser un motor de dos tiempos sin válvula no es necesario estudiar la resonancia que se produce debido a la apertura y cierre de estas. Por este motivo el estudio de la admisión se va a centrar en:

- Maximizar el caudal de aire que llega a la entrada láminas-cárter
- Minimizar las pérdidas de carga
- Maximizar la presión justo en la entrada de las láminas de admisión

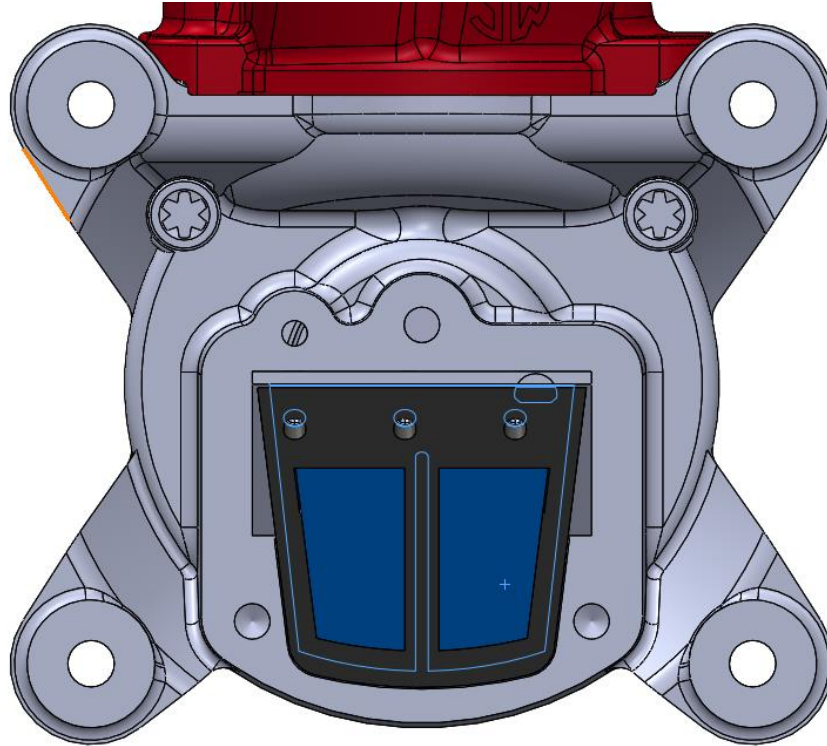


Ilustración 31 - Laminas de admisión

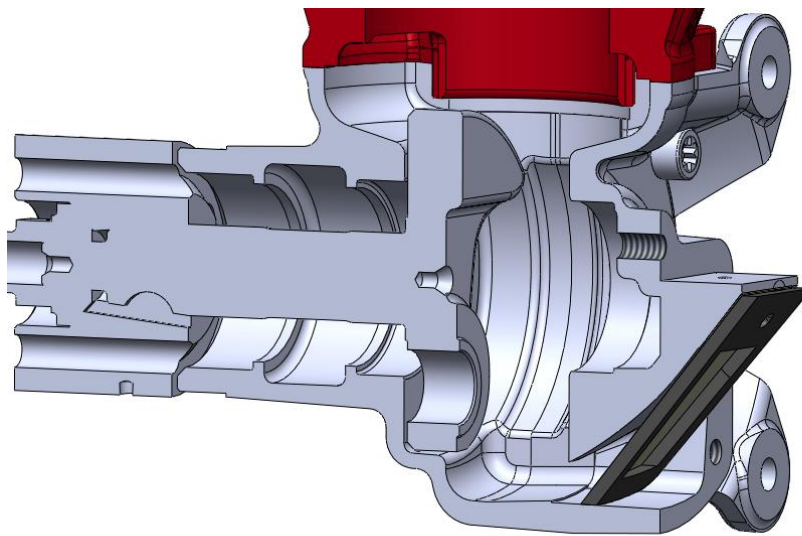


Ilustración 32 - Entrada laminas-cárter

Las simulaciones no se van a realizar suponiendo una velocidad de entrada en la tobera de la admisión, esto se debe a que la admisión no va a tener un flujo forzado de aire ya que ira dispuesta a contramarcha en la aeronave. Es por ello que la simulación se va a realizar suponiendo que el motor se encuentre en una posición estacionaria. Por lo que las condiciones de contorno para esta simulación serán un diferencial de presión entre la entrada y la salida de la admisión, esta diferencia de presión se calcula con la velocidad del pistón y su barrido.

Además, se va a realizar dos estudios distintos uno transitorio y otro estacionario. De esta forma se podrá ver cuánto tiempo necesita el fluido para estabilizarse y se verá si la geometría presenta problemas en algún punto específico.

Para la realización de la simulación se va a emplear el módulo Flow Simulation de Solidworks. Para tener una certeza de que el componente va a funcionar de forma correcta, en todo el rango de RPM, se van a realizar las siguientes simulaciones:

En resumen, se van a realizar las siguientes simulaciones:

Tabla 9 - Resumen de las simulaciones

N.º	Estado	Simulación	Flujo másico (kg/s)	Presión atmosférica (Pa)
1	Estacionario	Diseño 1: 3000RPM	0,00388254	101325
2		Diseño 1: 4500RPM	0,00582381	101325
3		Diseño 1: 7000RPM	0,00905927	101325
4		Diseño 2: 3000RPM	0,00388254	101325
5		Diseño 2: 4500RPM	0,00582381	101325
6		Diseño 2: 7000RPM	0,00905927	101325
7	Transitorio	Diseño 1: 3000RPM	0,00388254	101325
8		Diseño 1: 4500RPM	0,00582381	101325
9		Diseño 1: 7000RPM	0,00905927	101325
10		Diseño 2: 3000RPM	0,00388254	101325
11		Diseño 2: 4500RPM	0,00582381	101325
12		Diseño 2: 7000RPM	0,00905927	101325

2.4.3.1 Introducción al CFD

La dinámica de fluidos computacional es una ciencia que emplea los ordenadores para predecir de forma cuantitativa el comportamiento de los fluidos. Se basa principalmente en las leyes de la conservación de la energía, masa y momento.

Las ecuaciones que sientan las bases de los *solvers* de CFD son las de Navier-Stokes.

Gracias a la creciente potencia de los ordenadores actuales estos métodos de cálculo se emplean en todo tipo de sectores permitiendo predecir el comportamiento de un componente de forma cualitativa.

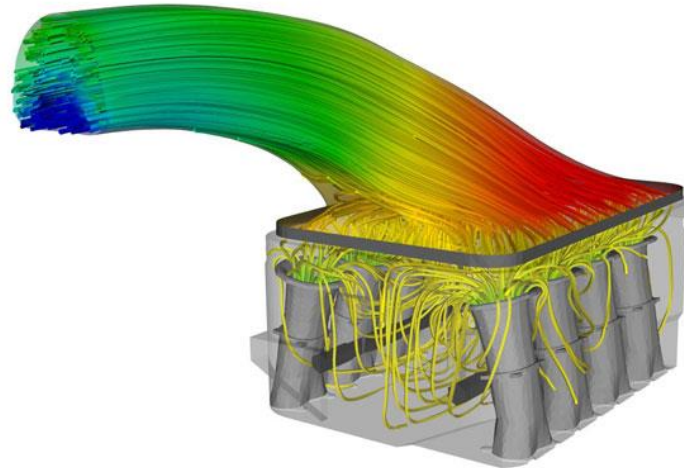


Ilustración 33 - Análisis CFD de la admisión de un F1 (Fuente: Race tech)

Este tipo de herramientas, al igual que cualquier otra, ofrecen una serie de ventajas e inconvenientes:

Ventajas

- Ahorro de costes y tiempo, estos métodos nos permiten tener menos iteraciones a la hora de fabricar un prototipo. También reducen la necesidad de realizar ensayos, los cuales encarecen mucho el desarrollo del proyecto.
- Descarte de prototipos no viables, estos métodos nos permiten realizar cálculos simples a mano y corroborarlos de forma rápida. Viendo si merece o no, la pena continuar por una línea de desarrollo.
- Optimización de geometrías, en campos como en la aeronáutica o en la automoción de competición permiten iterar tantas veces como sea necesario para lograr el resultado deseado sin incrementar el coste de forma sustancial.

Inconvenientes

- Formación del personal, la realización de estas simulaciones debe de ser por un experto. Estos expertos deben de conocer los modelos matemáticos empleados por el solver y, además, deben de saber interpretar los resultados. Y se debe de conocer el software de modelado para así poder modificar la geometría si el ensayo lo requiere.
- Simplificación, en ocasiones no se dispone de un equipo idóneo como para realizar una simulación lo suficientemente precisa y se deben de realizar

simplificaciones en el modelo. Estas, pueden no ser adecuadas y variar los resultados obtenidos.

2.4.3.1.1 Ecuaciones de la mecánica de fluidos

De manera general los solvers de calculo CFD resuelven las siguientes ecuaciones:

- Ecuación de conservación de la masa:
 Conocida como “ecuación de continuidad”.
 Esta ecuación se basa en que el caudal del fluido ha de ser constante a lo largo de toda la conducción.
 En los casos transitorios de este proyecto la ecuación será:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot v) = 0 \tag{9}$$

Donde:

- ρ es la densidad del fluido
- t es el tiempo
- v la velocidad del fluido

- Ecuación de la conservación de la cantidad de movimiento
 La segunda ley de Newton enuncia que la tasa de cambio de la cantidad de movimiento en un fluido será igual a la suma de las fuerzas que actúan sobre ese fluido.
 Esta ley se puede representar de múltiples formas, pero todas son equivalentes.

Forma integral Lagrangiana

$$\int_v \rho \frac{du}{dt} dV = \int_v (\nabla \cdot \sigma + \rho \cdot g) dV \tag{10}$$

- Ecuación de la conservación de la energía
 Esta ley es la popularmente conocida como: “la materia no se crea ni se destruye, solo se transforma”. Esta ley deriva de la primera ley de la termodinámica, que enuncia que la tasa de cambio de la energía de una partícula de un fluido es equivalente a la tasa de cambio de calor de la partícula mas el trabajo realizado sobre esta.

$$\begin{aligned} & \rho \frac{\partial E}{\partial t} + \rho \cdot (E \cdot \nabla) \cdot E = \\ & = -\nabla \cdot p \cdot u + \left[\frac{\partial u \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial u \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial u \tau_{zx}}{\partial z} + \frac{\partial v \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial v \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial v \tau_{zx}}{\partial z} \right. \\ & \quad \left. + \frac{\partial w \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial w \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial w \tau_{zx}}{\partial z} \right] + \nabla \cdot k \nabla T + S_E \end{aligned} \tag{11}$$

- Ecuaciones del modelo de turbulencia

Dependiendo del valor del número de Reynolds el flujo puede ser laminar o turbulento. Esto se emplea sobre todo en las zonas que están próximas a las paredes del modelo. El solver de Solidworks utiliza el modelo *modified wall functions* este modelo describe las transiciones de flujo laminar a turbulento y viceversa.

El modelo de turbulencia empleado es el modelo k-ε, es el modelo más popular para el simulado de flujos turbulentos. Este modelo tiene el inconveniente de prever y desarrollar gradientes de presión negativos, los cuales pueden dar como resultado una pérdida de presión en fluidos alejados de las paredes. En el caso de este proyecto se desprecia este efecto ya que las dimensiones de los elementos son muy reducidas.

Este modelo se basa en dos ecuaciones fundamentales de la mecánica de fluidos:

Ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot v) = 0 \quad (12)$$

Ecuación de la conservación del momento angular:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (u_j u_i - \tau_{ij}) = - \frac{\partial P}{\partial x_i} \quad (13)$$

- Solidworks Solver

Este solver resuelve las ecuaciones con un método numérico discreto basado en método del fluido finito. Este es un método que emplea coordenadas cartesianas.

- Malla

Los elementos de malla empleados son paralelepípedos con las caras orientadas de forma ortogonal a los ejes del sistema cartesiano. Además, en las zonas límite de la geometría los elementos de malla son paralelepípedos pero cortados con la geometría. De esta forma logra una mayor precisión.

El tamaño de los elementos de malla definirá la precisión de la simulación, a más elementos de malla estos serán de menor tamaño y mejorarán la precisión de la simulación. Si bien es cierto llegado a un punto la malla converge y por mucho que se reduzca el tamaño de los elementos de malla, el resultado no variará.

Un estudio de sensibilidad de malla permitirá encontrar el punto en el que los resultados convergan.

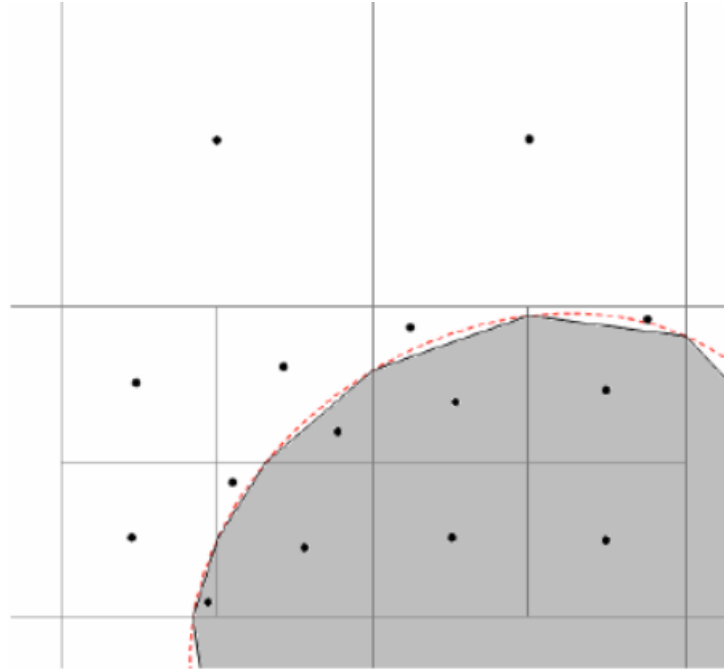


Ilustración 34 - Elementos de malla

2.4.3.2 Análisis estacionario

Un análisis estacionario es aquel en el que los parámetros a estudiar no varían con el tiempo, es decir, un estudio en el que se estudia un modelo que ya está estabilizado y no se estudian los cambios de régimen o arranques y paradas. Un modelo estabilizado es aquel que cumple con la ecuación de continuidad, $Q_{\text{entrante}} = Q_{\text{saliente}}$

Este tipo de ensayos son mucho más económicos ya que los cálculos se simplifican debido a que se eliminan los términos dependientes del tiempo de las ecuaciones de Navier-Stokes.

2.4.3.2.1 Simulación 1 Régimen 3000 RPM

Diseño 1

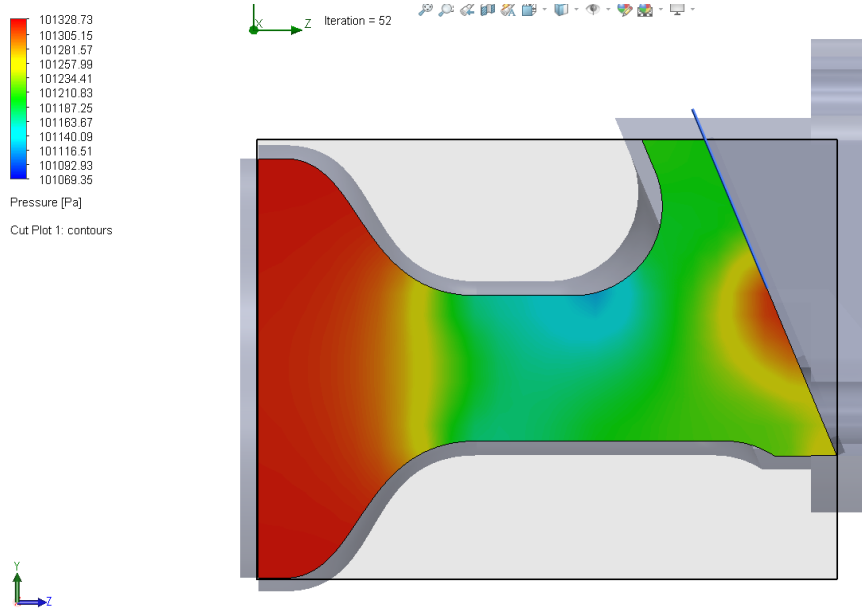


Ilustración 35 - Simulación 1 presiones

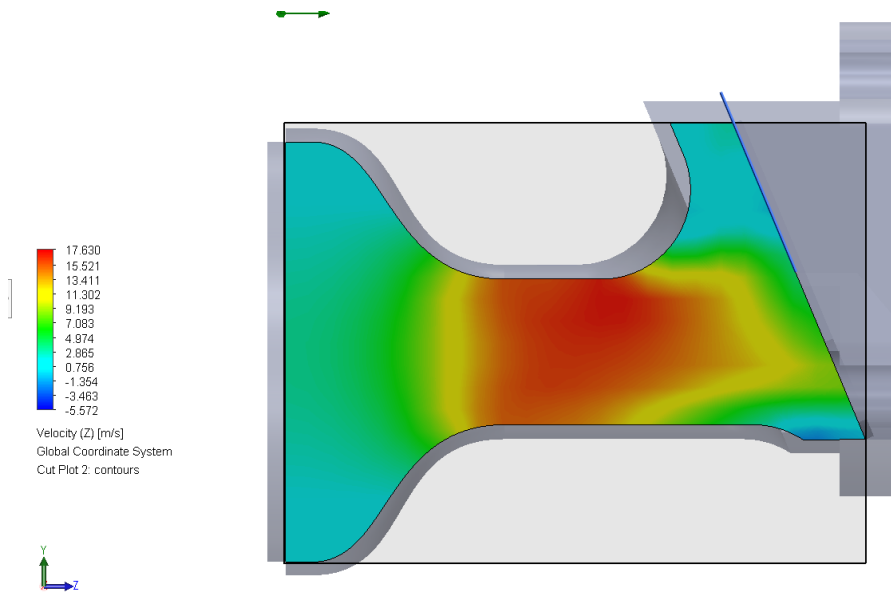


Ilustración 36 - Simulación 1 velocidades

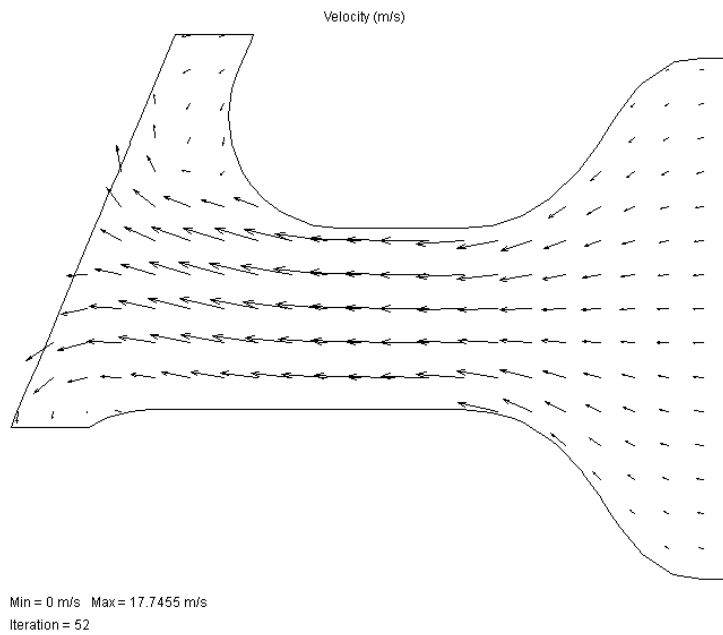


Ilustración 37 – simulación 1 vectores velocidad

2.4.3.2.2 Simulación 2

Régimen 4500

Diseño 1

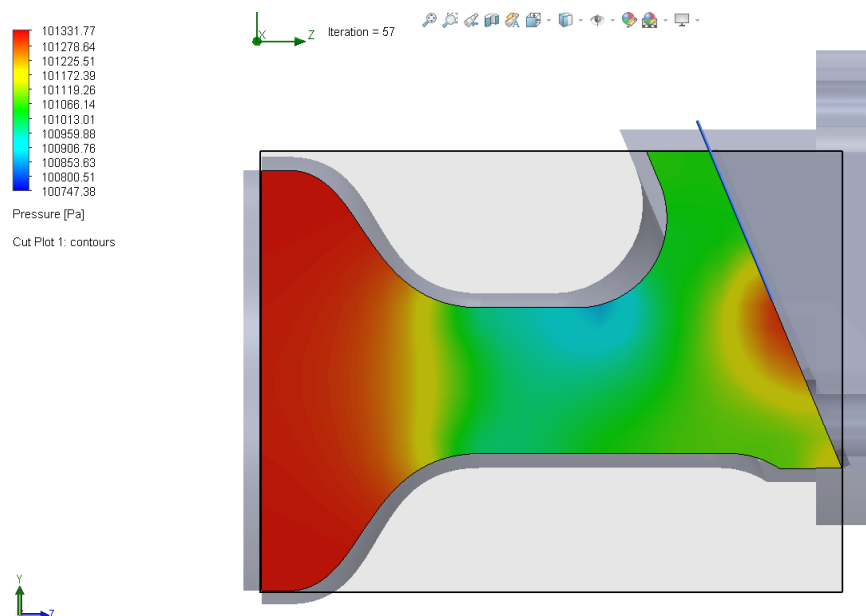


Ilustración 38 - Simulación 2 presiones

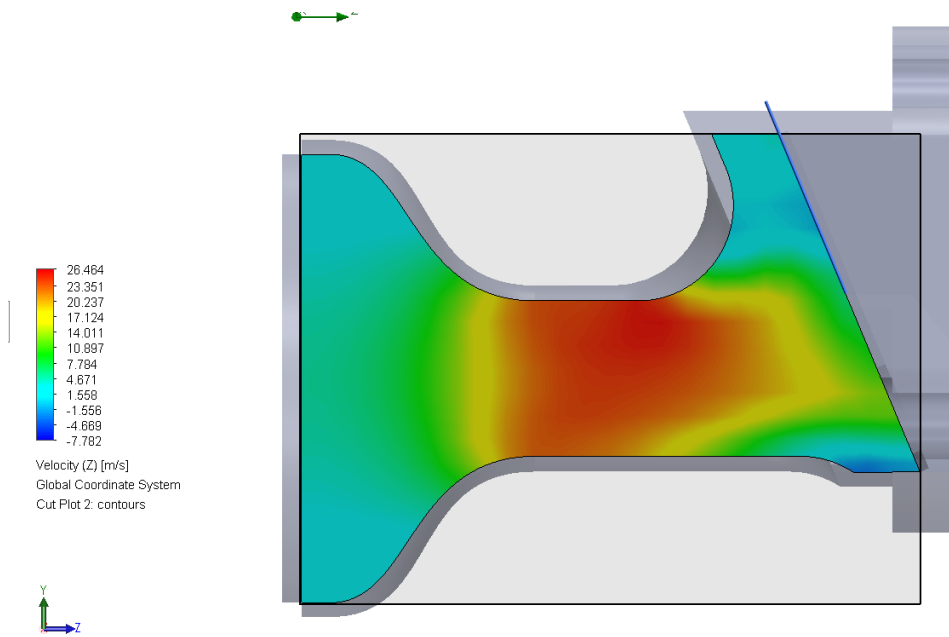


Ilustración 39 - Simulación 2 velocidades

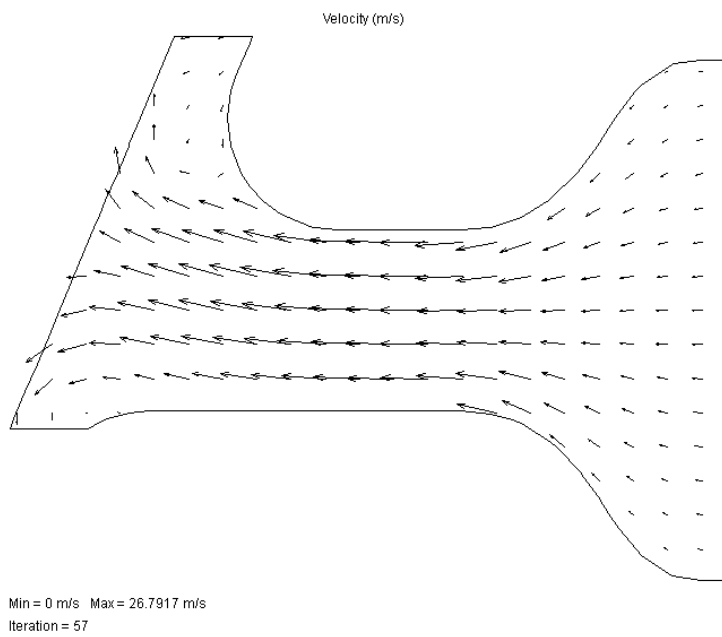


Ilustración 40 - Simulación 2 vectores velocidad

2.4.3.2.3 Simulación 3

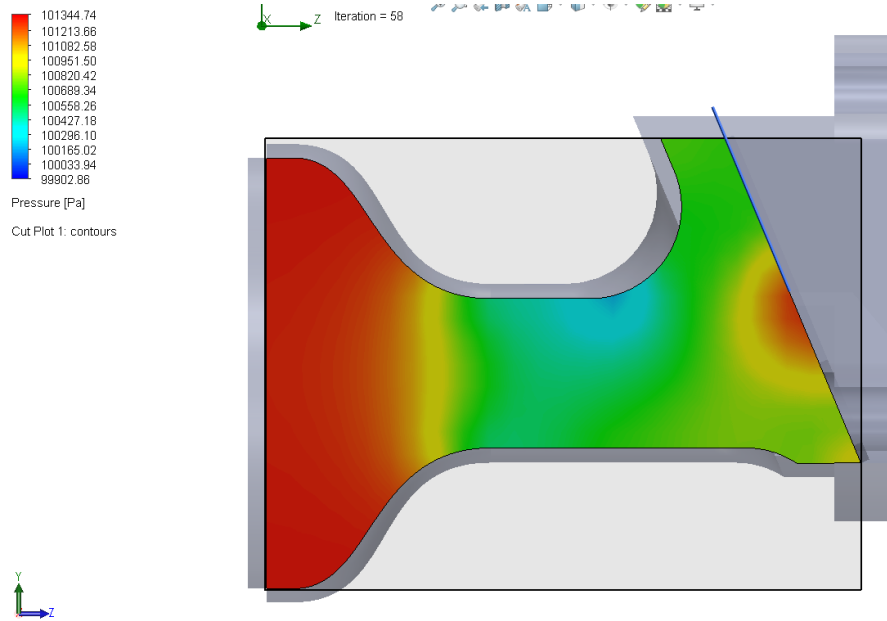


Ilustración 41 - Simulación 3 presiones

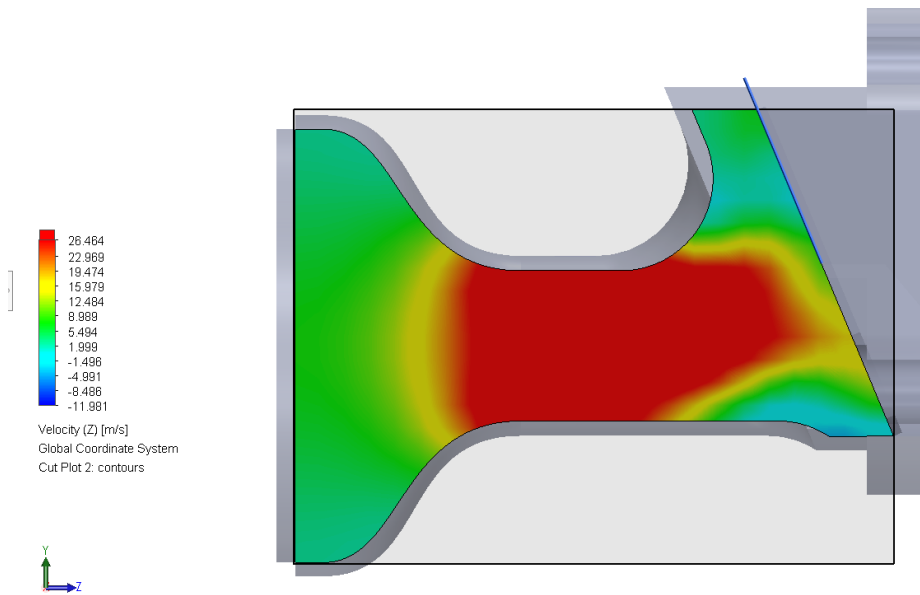


Ilustración 42 - Simulación 3 velocidades

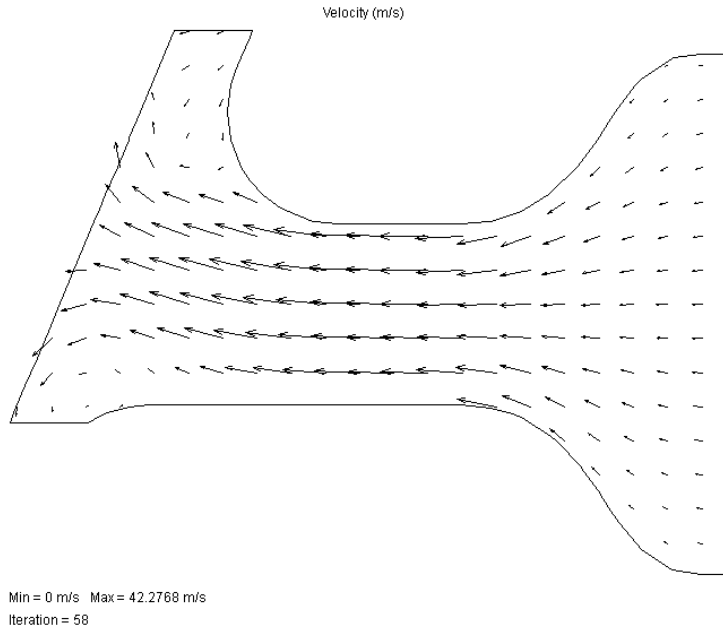


Ilustración 43 - Simulación 3 vectores velocidad

2.4.3.2.4 Simulación 4

Régimen 3000 rpm

Diseño 2

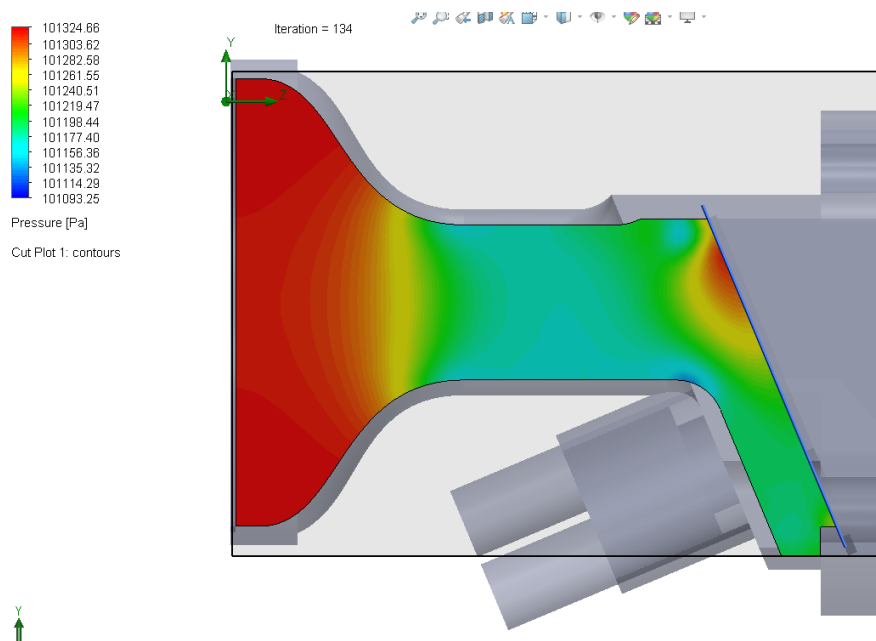


Ilustración 44 - Simulación 4 resultado presiones

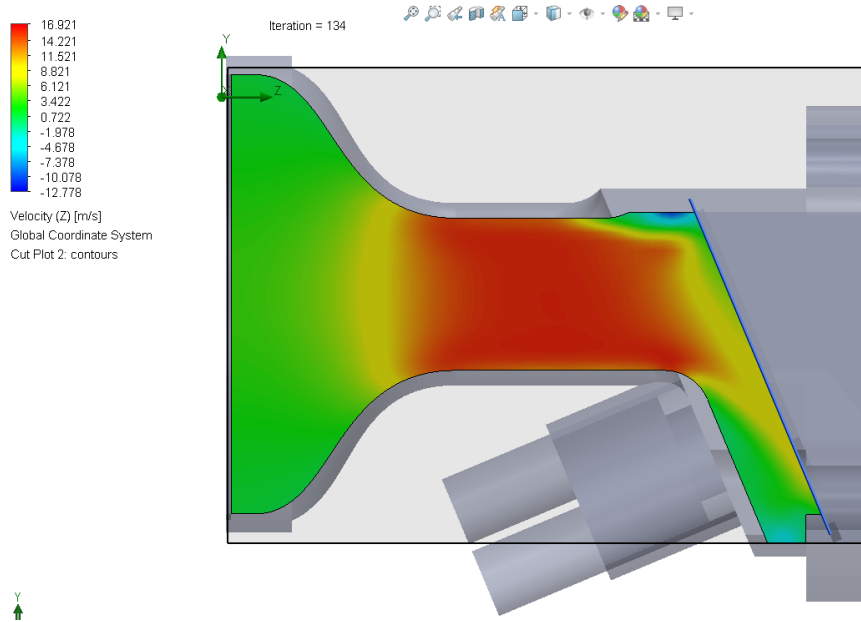


Ilustración 45 - Simulación 4 resultado velocidad

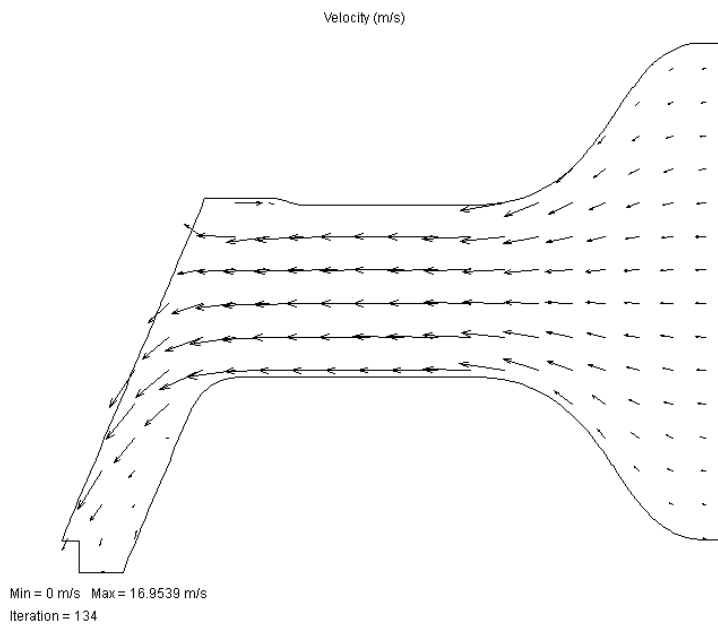


Ilustración 46 - Simulación 4 vectores de velocidad

2.4.3.2.5 Simulación 5

Régimen 4500rpm

Diseño 2

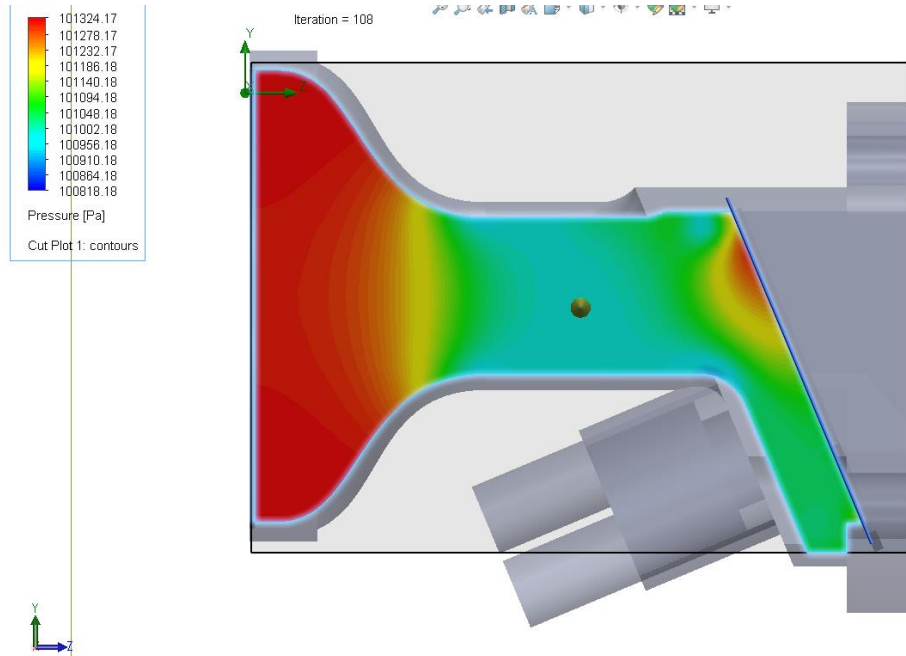


Ilustración 47 - Simulación 5 presiones

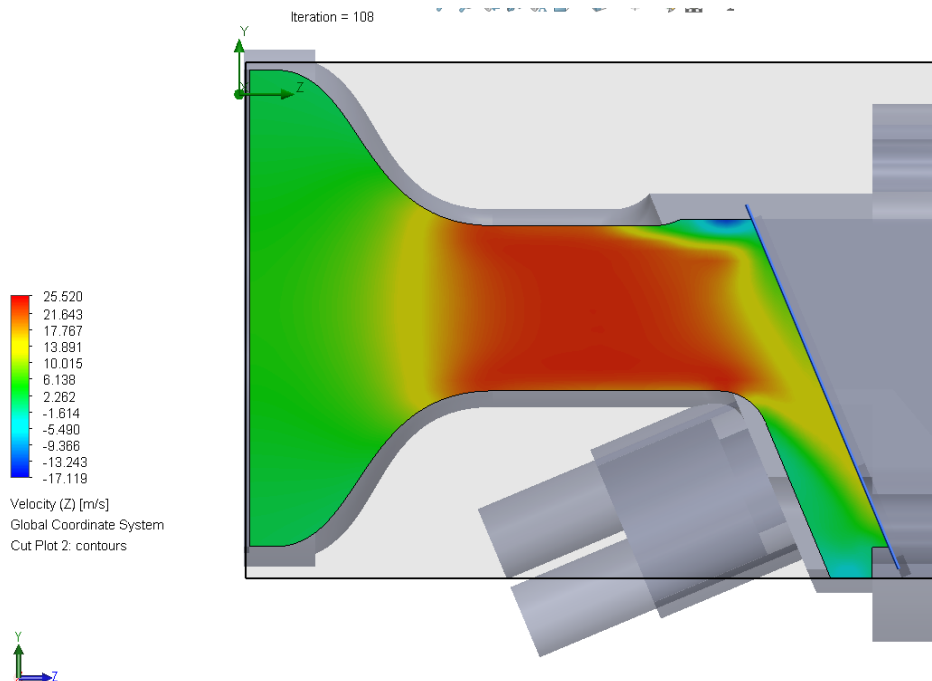


Ilustración 48 - Simulación 5 velocidades

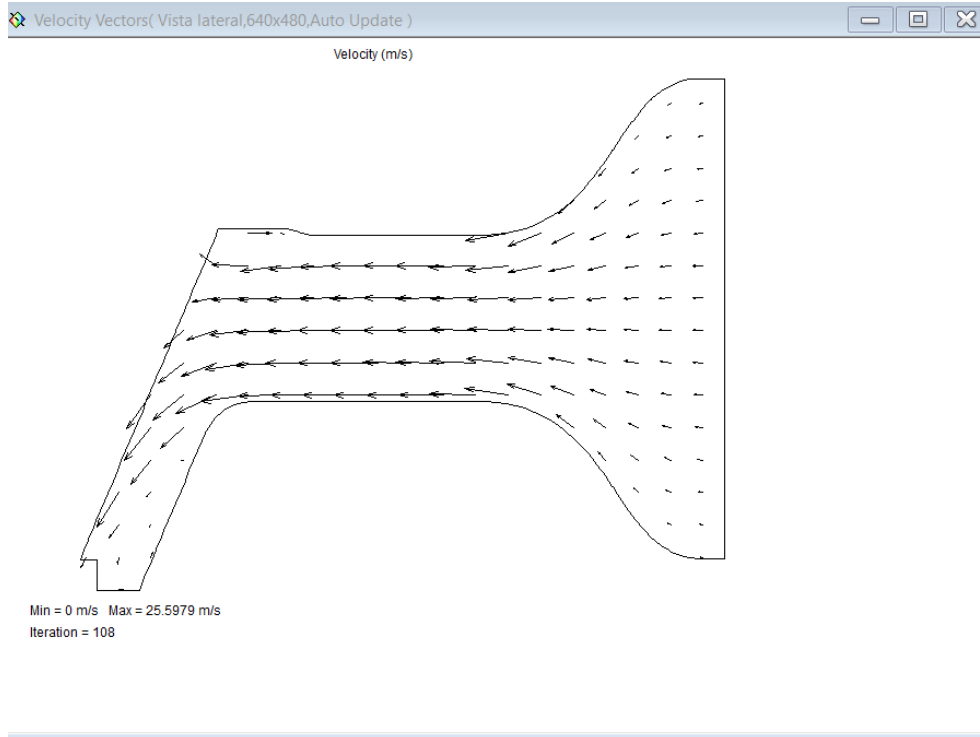


Ilustración 49 - Simulación 5 vectores velocidad

2.4.3.2.6 Simulación 6

Régimen 7000 RPM

Diseño 2

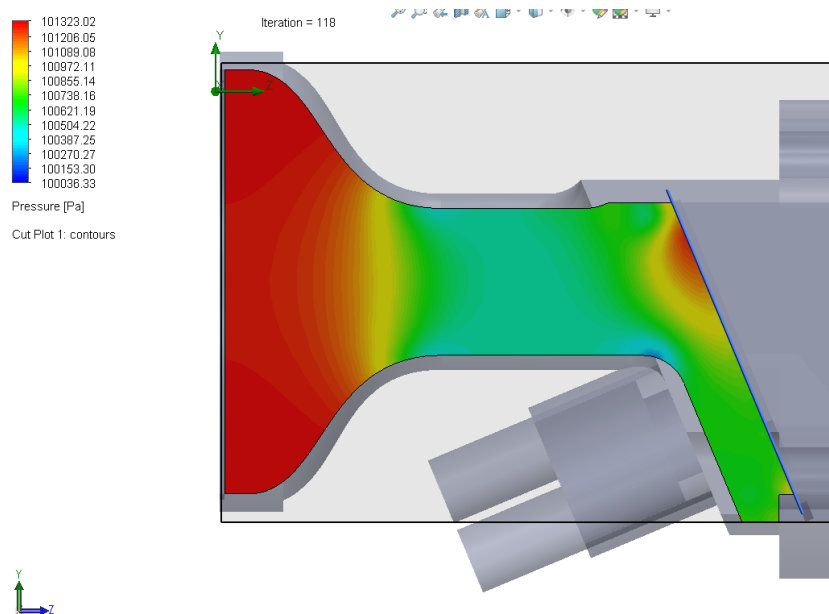


Ilustración 50 - Simulación 6 presiones

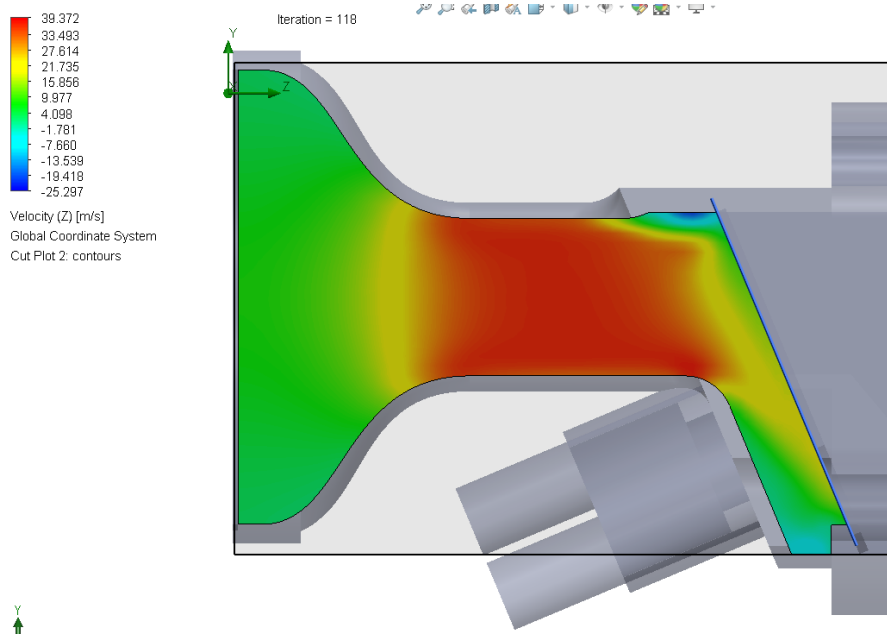


Ilustración 51 - Simulación 6 velocidades

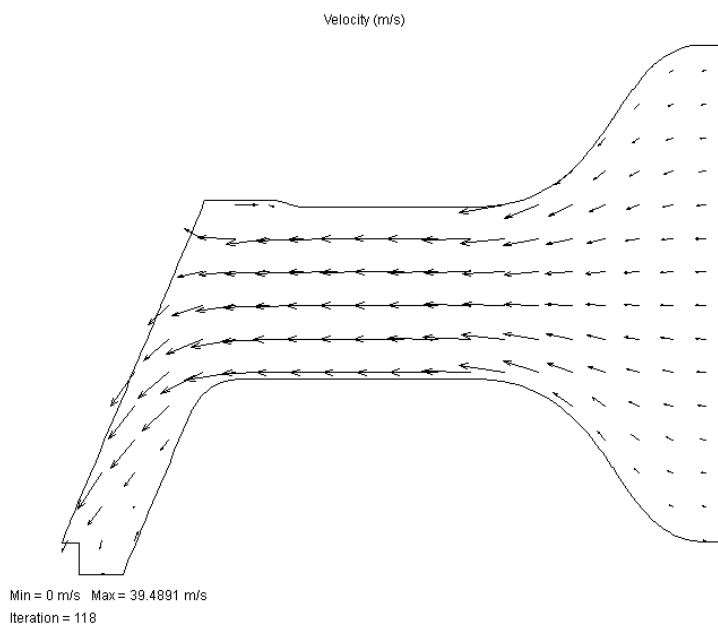


Ilustración 52 - Simulación 6 vectores velocidad

Tabla 10 - Resumen resultados simulación

N.º	Estado	Simulación	Velocidad máxima (m/s)	Presión mínima (Pa)
1	Estacionario	Diseño 1: 3000RPM	17.630	101069
2		Diseño 1: 4500RPM	26.464	100747
3		Diseño 1: 7000RPM	42.276	99902
4		Diseño 2: 3000RPM	16.95	10193
5		Diseño 2: 4500RPM	25.520	100818
6		Diseño 2: 7000RPM	39.372	100036

2.4.3.3 Análisis transitorio

En el análisis estacionario observamos el tiempo de estabilización del modelo y de esta forma se puede ver si el sistema tiene algún problema en algún momento antes de la estabilización.

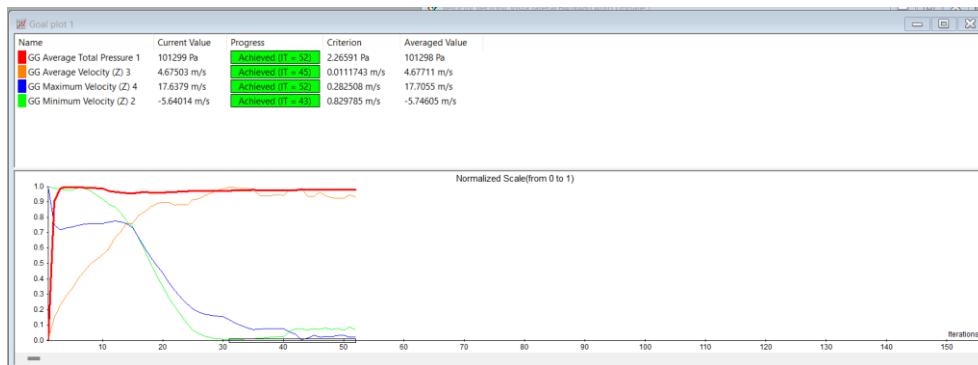


Ilustración 53 - Simulación 1 transitorio

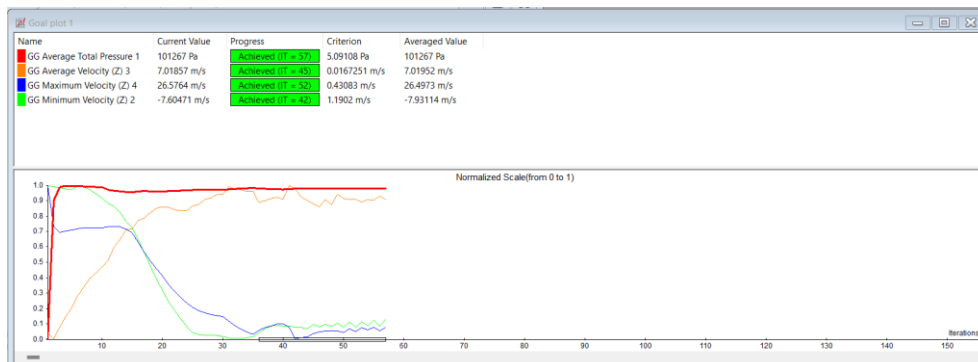


Ilustración 54 - Simulación 2 transitorio

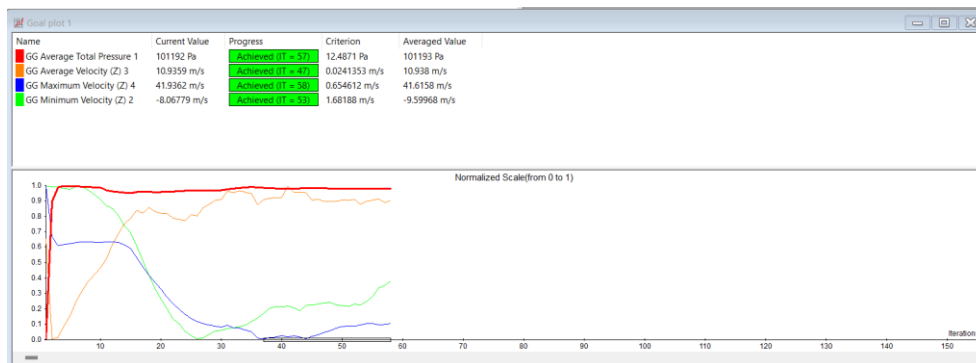


Ilustración 55 - Simulación 3 transitorio

2.4.4 CONCLUSIÓN

Como se puede observar en la tabla número 10 el diseño 1 obtiene mejores resultados de depresión y de velocidad. Además, viendo las imágenes de vectores velocidad se puede apreciar que en las zonas cercanas a las paredes hay una homogeneidad en el fluido por lo que las pérdidas de carga son menores también.

Después de haber analizado los resultados de las simulaciones se ha tomado la decisión de continuar con el diseño 1 como diseño final.

2.4.5 Selección de componentes

El cuerpo de admisión lleva adheridos a el, una serie de componentes que hacen que el sistema de admisión funcione de manera correcta y cumpla con sus funcionalidades. Los componentes son:

1. Inyector

El inyector es el encargado de suministrar combustible al sistema. Suministra combustible pulverizado a presión. Están compuestos por una electroválvula que abre o cierra en paso del combustible. La gestión del inyector la realiza la ECU (Engine control unit).

Tabla 11 - Características técnicas inyector

Características técnicas	
Voltaje	12-14V
Presión	1-4.5 Bar
Tiempo de apertura	0.8 ms
Tiempo de cierre	0.6 ms
Resistencia	12Ω
Flujo (300 kPa)	38 g/min



Ilustración 56 -Inyector MEV 38 (Fuente: MEV)

2. Servo motor y TPS

Al ser una admisión para un vehículo no tripulado requiere de un accionador para mover la mariposa de la admisión. Por la simplicidad que ofrece a la hora de controlarlo de forma correcta y porque, además, ofrece un feedback de su posición se ha seleccionado el servomotor como actuador.

El servo seleccionado es del fabricante alemán Volz. Es el servo mas ligero de su catalogo. Además, cuenta con un acople directo a la válvula de mariposa para no tener que realizar una interfaz, reduciendo los componentes y garantizando el funcionamiento correcto ya que no necesita calibración inicial.

Cuenta con un motor brushless de corriente continua resistente a las vibraciones. La tecnología sin escobillas elimina el riesgo de producir ruido electromagnético por lo que mejora las características en EMI y EMC del sistema.

Este servo posee un encoder interno que nos permite conocer la posición angular de la palomilla en todo momento. Esto elimina la necesidad de montar un sensor de posición de la mariposa (TPS).

Al ser un componente critico para el control del motor posee una carcasa de aluminio con protección contra ruido EMI

Soporta al menos 100 horas de salpicaduras de agua salada sin sufrir daños y cumple la norma IP-67 de protección contra el agua y el polvo.



Ilustración 57 - Servo Volz DA-15T (Fuente: VOLZ)

3. Filtro

El filtrado del aire es una etapa fundamental. Para el filtro se ha utilizado una espuma de doble densidad. La etapa más exterior es la encargada de recoger la suciedad más de mayor tamaño y la interior es un microfiltro para las partículas más pequeñas.

2.4.6 Diseño geométrico final

Partiendo de la base del diseño obtenido en las simulaciones se han añadido los componentes necesarios para el funcionamiento del motor. Se ha tenido en cuenta el objetivo de mantener el peso lo más bajo posible y el fácil montaje y mantenimiento. El resultado final ha sido:

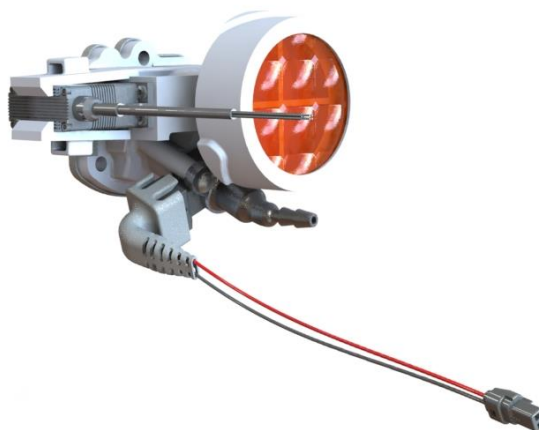


Ilustración 58 - Diseño final admisión

2.4.6.1 Cuerpo de admisión

El cuerpo de admisión está diseñado para ser fabricado en PA-12 mediante impresión 3D con tecnología Multijet fusión. Esta tecnología ofrece la posibilidad de realizar diseños muy complicados a bajo coste y con materiales de alto rendimiento. Esta tecnología ofrece una gran densidad en la pieza final lo que las hace 100% impermeables.

El cuerpo de admisión se ensambla al bloque motor con una junta de goma intermedia y tres tornillos DIN 912 de M5.

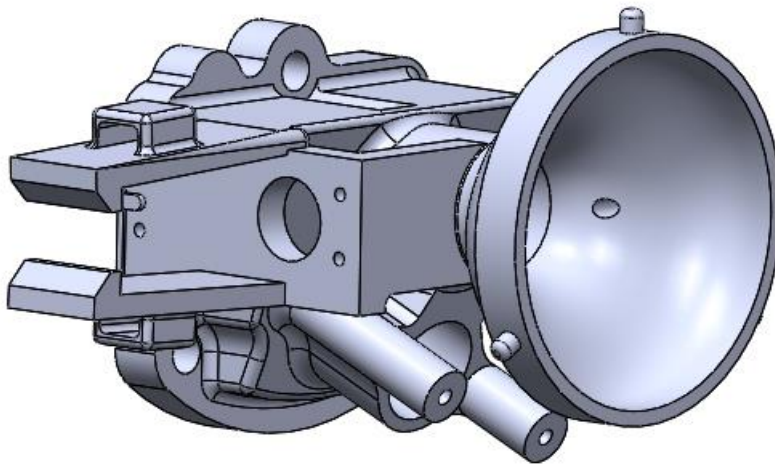


Ilustración 59 - Cuerpo de admisión vista isométrica

2.4.6.2 Soporte filtro de aire

Fabricada en PA 12 con la tecnología Multijet fusión.

El filtro de aire se ensambla a la admisión con un mecanismo de cuarto de vuelta. Esto facilita el montaje e inspección ya que no se requieren herramientas.

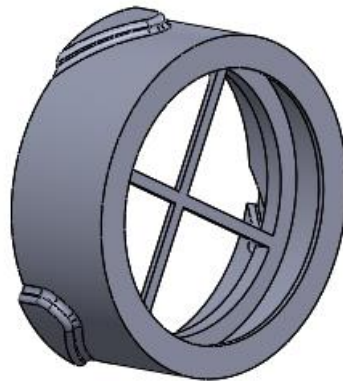


Ilustración 60 - Soporte filtro de aire

2.4.6.3 Cazoleta inyector

Es la encargada de guiar el combustible desde las tuberías al inyector. Fabricada en PA 12 mediante la tecnología Multijet fusión. Se ensambla al cuerpo de admisión con dos tornillos diseñados para roscar en plástico T15 Polyfix45.

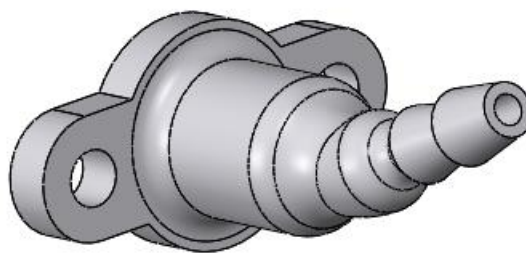


Ilustración 61 - Cazoleta de inyección



Ilustración 62 - Tornillo rosca-plástico polyfix 45

2.4.6.4 Eje de admisión

El eje de admisión es el componente encargado de fijar la mariposa al servo. Está fabricado en aluminio 6075 T6 y posee un ranurado en uno de sus extremos para tener una posición inequívoca en su montaje. La mariposa se monta con dos tornillos ISO 7380 de M²

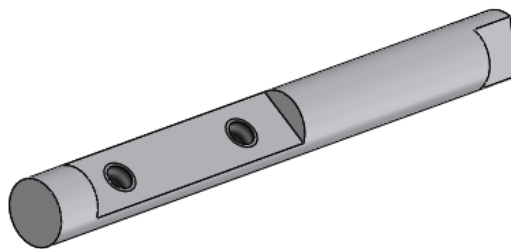


Ilustración 63 - Eje de admisión

2.4.6.5 Palomilla admisión

Es la válvula encargada de abrir y cerrar el flujo de admisión al motor. Esta fabricada de plancha de latón de 1mm cortada por láser.

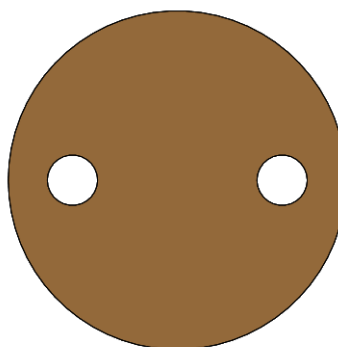


Ilustración 64 - Palomilla admisión

2.5 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

2.5.1 Introducción

Los motores refrigerados por aire dependen del flujo de aire que circula a su alrededor para su funcionamiento. Estos motores tienen la ventaja de no necesitar sistema de refrigeración a base de agua, lo que reduce significativamente su peso. El fabricante del motor recomienda que la temperatura de operación nunca exceda los 250°C y nunca este por debajo de 150°C. Para garantizar que el motor siempre se encuentra dentro de ese rango es necesario instalar una tobera de refrigeración activa. Esta redirigirá el aire en torno a las aletas de refrigeración del motor. Además, es necesario que sea una refrigeración activa ya que si la temperatura desciende de 150°C el motor no funcionará de manera eficiente y reducirá su vida útil por la acumulación de sedimentos en la cámara de combustión.

2.5.2 Definición de geometrías

Para la definición geométrica del sistema de refrigeración del motor se ha empleado un documento de la naca, el documento naca 555. En este documento se dan unas pautas para el diseño de conductos de refrigeración en torno a cilindros con aletas refrigerados por aire a una temperatura de 20°C.

Para tener un control en la refrigeración del motor se pretende diseñar bafle para conseguir que el motor este dentro de un rango de temperaturas definido para cualquier régimen y condición ambiental. De esta forma el motor tendrá un comportamiento más eficiente en cuanto a consumos y vida útil. Para regular la temperatura se empleará una palomilla que se abrirá o cerrará en función de si debe aumentar o disminuir la temperatura del motor.

La geometría del sistema de refrigeración puede suponer un aumento del 20% de la eficiencia termodinámica del conjunto. Para ello se debe de prestar especial atención a ciertos parámetros. Estos son:

Entrada del sistema de refrigeración

- Radio de entrada
- Angulo de entrada
- Distancia aleta-sistema de refrigeración

Conducto de salida

- Radio de salida
- Angulo de salida
- Longitud del conducto de salida
- Anchura del conducto de salida

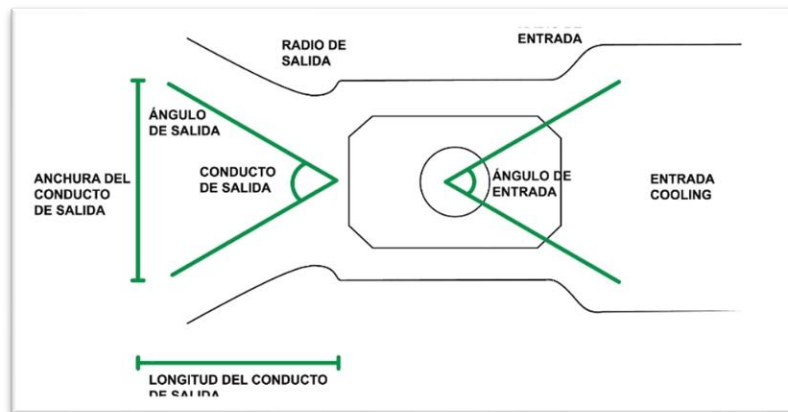


Ilustración 65 - Parámetros sistema de refrigeración

2.5.2.1 Angulo de entrada

En el documento *Naca 555* se realiza un estudio para determinar la velocidad del aire en torno a varios cilindros con y sin baffle.

Tras este estudio se determina que para ángulos comprendidos entre 0° y 70° es más eficiente sin baffle y a partir de 90° la velocidad aumenta para cilindros con baffle. Los resultados se pueden ver en el siguiente gráfico.

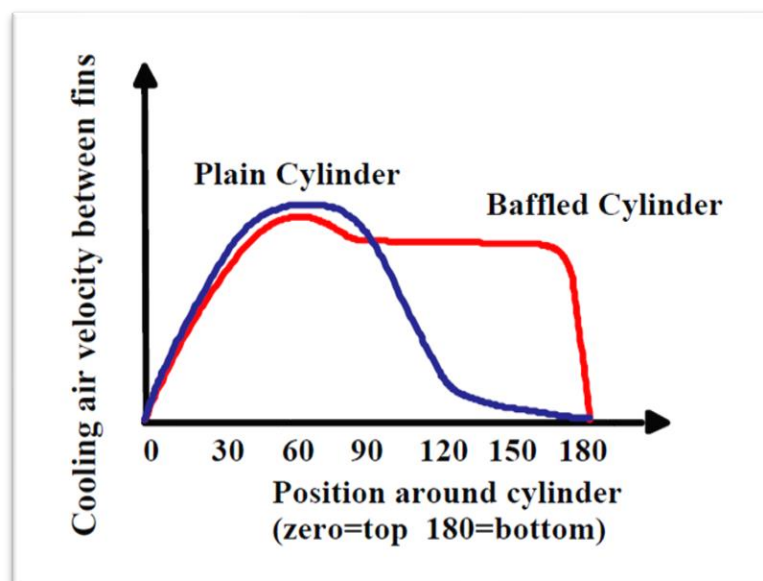


Ilustración 66 - Relación ángulo velocidad (Fuente: NACA 555)

2.5.2.2 Radio de entrada y salida

Este parámetro va en función del cilindro, concretamente de la profundidad de las aletas del cilindro. Y se ha demostrado empíricamente que el radio debe de ser mayor a la profundidad de la aleta.

Otros estudios recomiendan que el radio sea mayor o igual a 1,5·profundidad de aleta. Debido a que este requisito está contenido en el otro se intentara cumplir siempre y cuando las condiciones geométricas lo permitan.

2.5.2.3 Distancia aleta-tobera de refrigeración

En el documento *Naca 555* se estudian distintos cilindros y las distancia entre las aletas y la tobera de refrigeración. Se ensaya empíricamente por lo que deberemos buscar el cilindro que más se asemeje y emplear esos valores.

Se selecciona el cilindro que tiene una distancia entre aletas de 6,5mm y para este cilindro se demostró que la distancia correcta es de 3mm. Los resultados se obtienen del siguiente grafico:

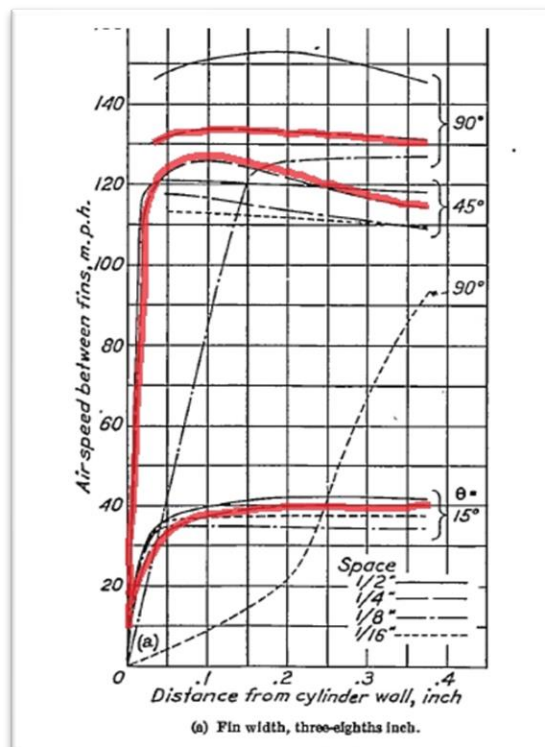


Ilustración 67 - Resultados ensayo aletas (Fuente: NACA 555)

2.5.2.4 Angulo de salida

El ángulo de salida recomendado es de 4° a 6° de esta forma se consigue una expansión lo más eficiente posible.

2.5.2.5 Longitud del conducto de salida

Este debe ser tan largo como sea posible, el documento recomienda que esta longitud este entre 2 y 3 pulgadas.

2.5.2.6 Anchura del conducto de salida

Este dato también se obtuvo experimentalmente y el resultado fue que la garganta de salida debe de tener una anchura de 3,2·Profundidad De aleta.

2.5.2.7 Dimensiones finales

Entrada del cooling

Radio de entrada

	$R_e \geq P_a = 14mm$	(14)
--	-----------------------	------

Angulo de entrada

140°

Distancia aleta-cooling

3mm

Conducto de salida

Radio de salida

	$R_e \geq P_a = 14mm$	(15)
--	-----------------------	------

Angulo de salida

$$4^\circ - 6^\circ$$

Longitud del conducto de salida

$$2'' = 51mm$$

Anchura del conducto de salida

	$A = 3,2 \cdot P_a = 3,2 \cdot 14 = 44,8mm$	(16)
--	---	------

2.5.3 Selección de componentes

Para el control de la temperatura se necesita un actuador que sea capaz de abrir o cerrar la mariposa de la tobera de refrigeración en función de la temperatura. Para hacer esta función y con el fin de estandarizar lo máximo posible se ha seleccionado el servo Volz DA 15-T, el mismo que para el control de la admisión.

2.5.4 Diseño geométrico

La tobera de refrigeración consta de una serie de componentes. Estos se pueden ver en la siguiente imagen:

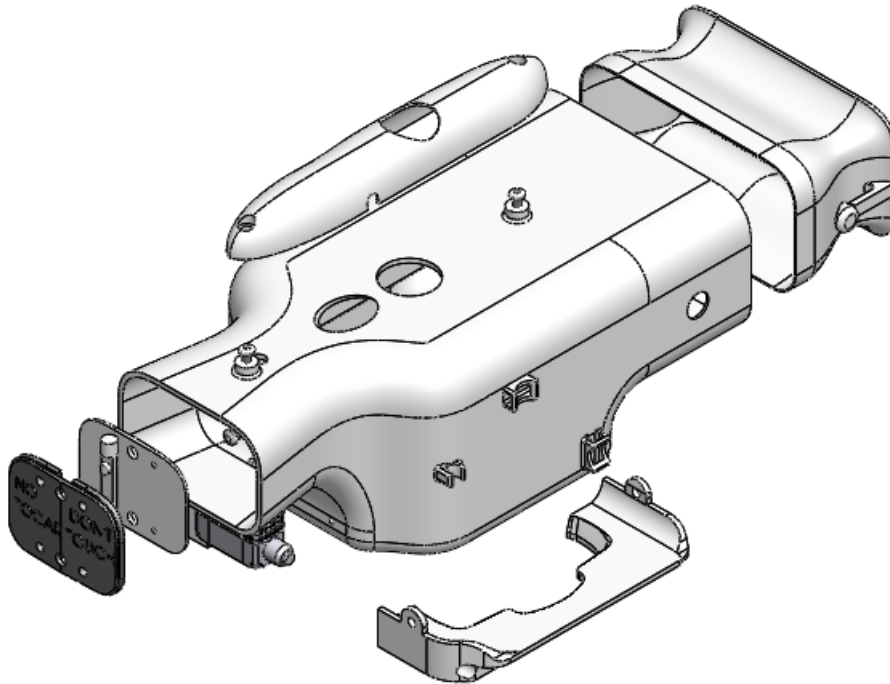


Ilustración 68 - Vista explosionada tobera de refrigeración

2.5.4.1 Tobera de refrigeración

Siguiendo la geometría obtenida gracias al documento *naca 555* se ha obtenido la geometría final del conducto. Además, este tiene interacciones con el resto de los componentes del sistema.

El material empleado para este componente es PA12 con la tecnología multijet fusión.

La tobera no solo tiene la función de canalizar el aire, sino que también guía los cableados de la pipa de la bujía y de los sensores de la zona. Además, contiene el restrictor delantero, la tapa de bujía, la palomilla y el servomotor.

Su interfaz con el motor la realiza a través del soporte tobera. Este abraza la parte inferior del motor para fijar el conjunto.

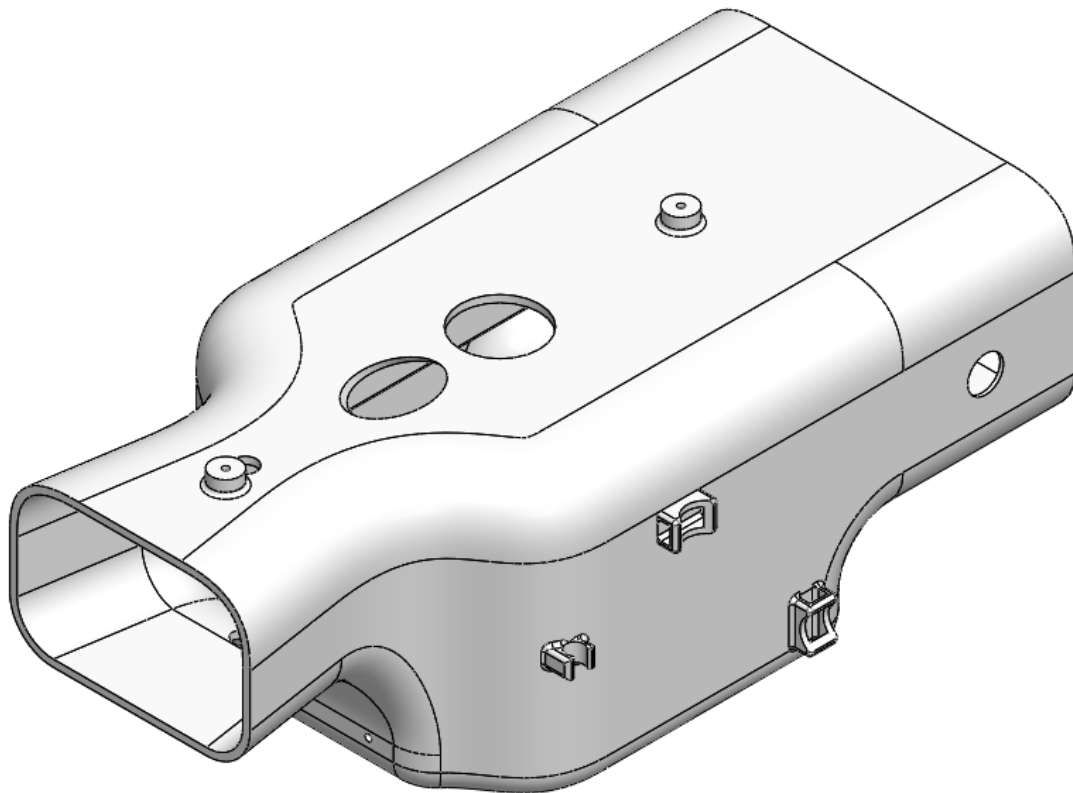


Ilustración 69 - Tobera refrigeración

2.5.4.2 Soporte tobera

Este elemento consta de dos partes que se unen entre si abrazando la parte baja del cilindro motor. También es el elemento encargado de fijar la tobera al motor, esto se realiza con 4 tornillos rosca plástico polyfix 45. Como el resto de los elementos de la tobera de refrigeración, esta está fabricada en PA12 con la tecnología multijet fusión.

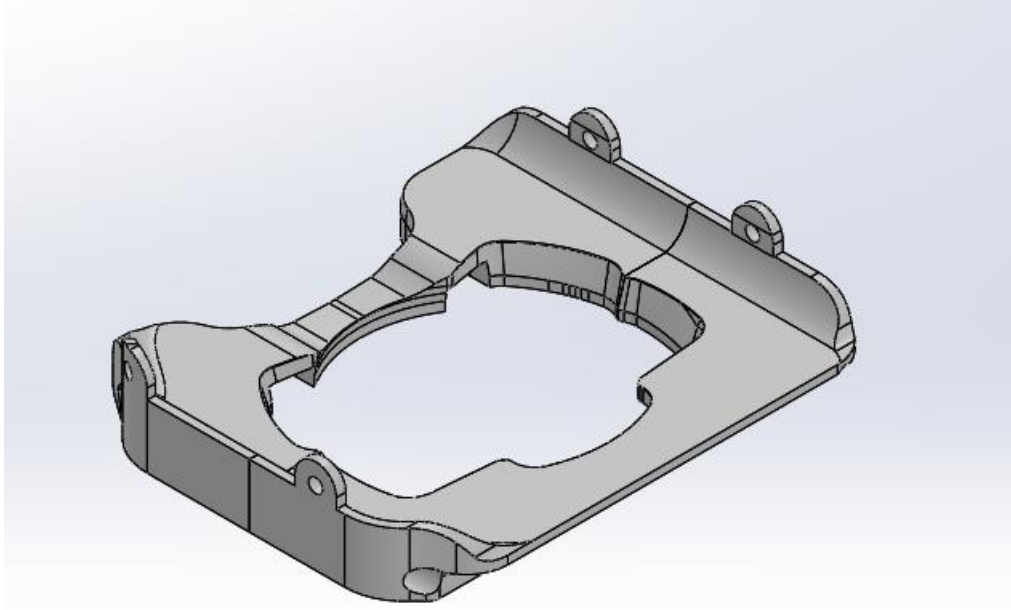


Ilustración 70 - Soporte tobera

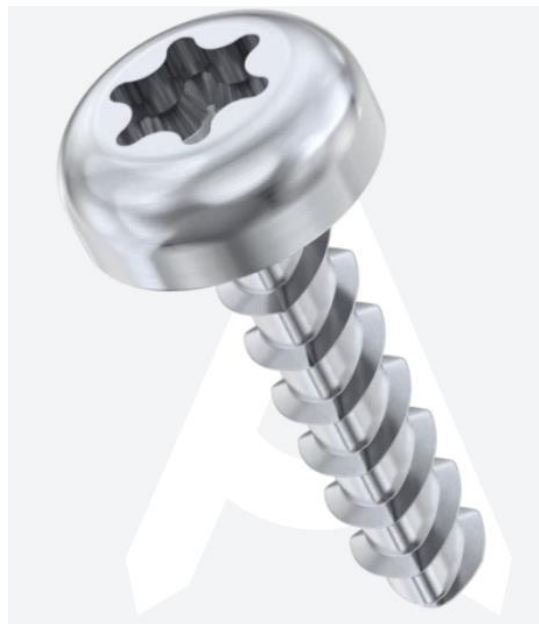


Ilustración 71 - Tornillo de fijación Accu Polyfix 45

2.5.4.3 Palomilla de refrigeración

Este elemento está compuesto por 3 piezas unidas entre sí por 4 tornillos rosca plástico polyfix 45. Los elementos son:

- Palomilla rígida, fabricada de PA12 con tecnología multijet fusion. Tiene la función de soportar el resto de los componentes.
- Eje de giro, fabricado en PA12 con la tecnología multijet fusión. Su función es hacer de interfaz entre el servo motor y la palomilla.
- Palomilla flexible, fabricada en Ultrasint TPU 90A-01 con la tecnología multijet fusión. Este material ofrece la ventaja de ser flexible por lo que el sellado de la tobera mejora debido a que puede tener cierta interferencia.

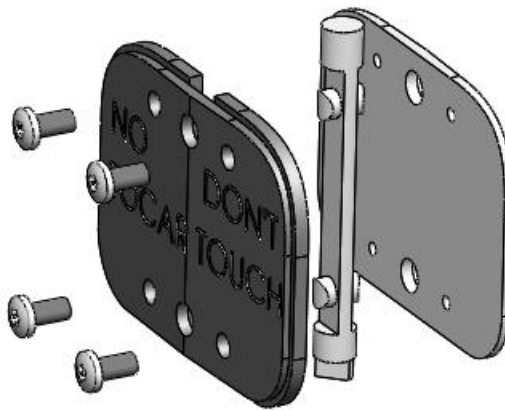


Ilustración 72 - Palomilla de refrigeración

2.5.4.4 Carenado bujía

Este elemento tiene como finalidad proteger y reducir la resistencia aerodinámica de la bujía y la pipa de la bujía. Fabricado en PA12 por la tecnología multijet fusión.

Se ensambla a la tobera de refrigeración mediante dos tornillos rosca plástico.

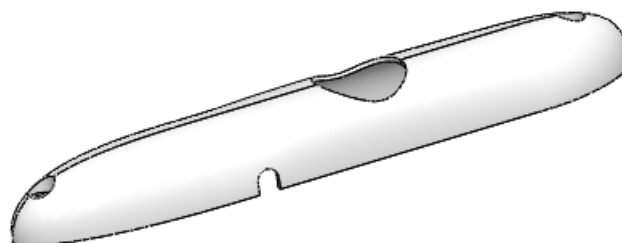


Ilustración 73 - Carenado bujía

2.5.4.5 Restrictor de flujo

Esta pieza se ha diseñado con el fin de reducir la apertura de la tobera en función de la temperatura externa. Los cálculos de la geometría de la tobera de refrigeración se han realizado con una temperatura exterior de 20°C. Por lo que se ha realizado este diseño para poder insertarlo y poder volar a temperaturas inferiores. Este componente deberá de optimizarse de forma empírica ya que no se cuenta con datos para poder determinar su temperatura de funcionamiento.

Esta fabricado en PA 12 con la tecnología multijet fusión. Se une a la tobera de refrigeración mediante dos tetones impresos en el propio elemento.

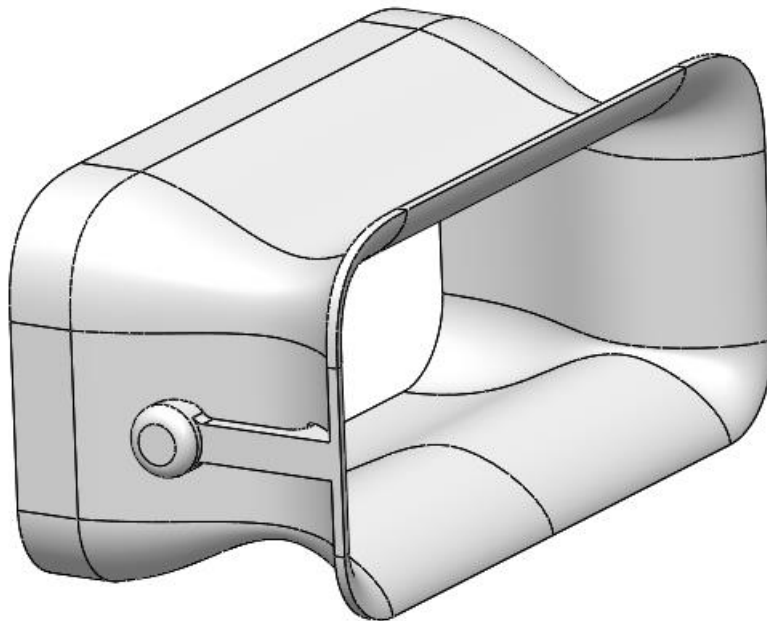


Ilustración 74 - Restrictor de flujo

2.6 SISTEMA DE AMORTIGUAMIENTO

Este conjunto tiene la función de absorber las vibraciones procedentes del motor al resto de la plataforma. Esta tarea tiene una gran importancia ya que, en la mayoría de las plataformas de este tipo la principal misión es ver a través de una cámara. Las vibraciones pueden hacer que la imagen no sea nítida y acabar con la operatividad de la misión.

El gran reto que se debe de superar con este diseño es el de minimizar el tamaño del conjunto y que aun así amortigüe las vibraciones del motor. Se debe de minimizar la transmisión de vibraciones ya que estas son más perjudiciales para las cámaras de video.

Además, las aeronaves comerciales están diseñadas para soportar el motor de tal forma que los silent blocks trabajan a cizalladura.

Dentro del diseño de este conjunto se han tenido en cuenta los siguientes objetivos:

- Mantener niveles de amortiguamiento
- Minimizar el tamaño al máximo
- Mantener el peso lo bajo posible
- Facilitar el montaje y desmontaje
- Estandarizar los componentes
- Minimizar el número de componentes

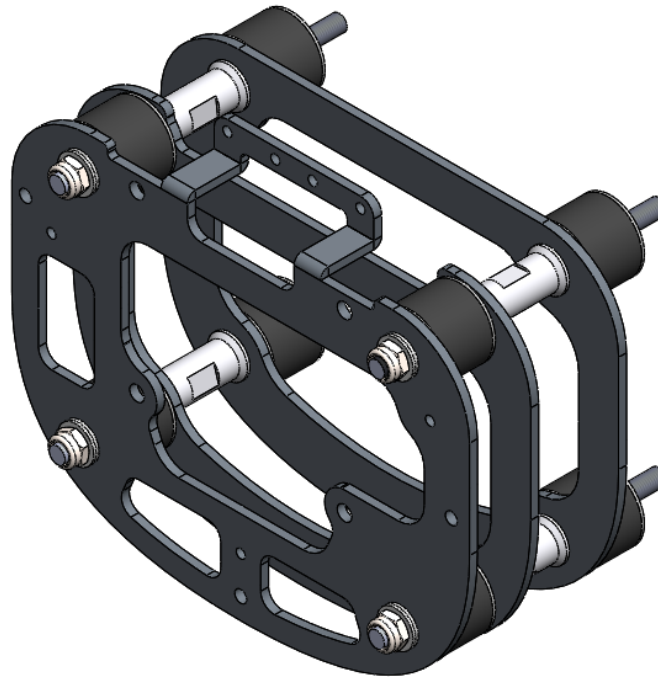


Ilustración 75 - Conjunto de amortiguación

2.6.1 Cálculo de amortiguamiento

Un sistema masa-muelle puede ser representado por una masa "M" excitada por una fuerza "F" y soportada por una constante de rigidez "K" y un amortiguamiento "C".

La frecuencia natural del sistema masa muelle es:

	$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$	(17)
--	---	------

K en N/m

M en kg

F₀ en Hz

C en Ns/m

La eficacia de la suspensión se puede medir por la transmisión, es decir, por la fuerza que ejerce el motor sobre la plataforma. Se define como la relación entre la fuerza transmitida y la fuerza inicial generada por la vibración.

Ecuación de la transmisibilidad

Excitación

	$x = x_0 \text{sen}(\omega t + \varphi)$	(18)
--	--	------

	$F = F_{t_0} \text{sen}(\omega t + \varphi)$	(19)
--	--	------

Respuesta

	$\mu = \mu_0 \text{sen}(\omega t)$	(20)
--	------------------------------------	------

	$F = F_0 \text{sen}(\omega t)$	(21)
--	--------------------------------	------

Si C ≈ 0

	$\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m}}$	(22)
--	---------------------------------	------

La frecuencia propia

	$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$	(23)
--	---	------

Amortiguamiento critico

	$C_c = 2\sqrt{k \cdot m}$	(24)
--	---------------------------	------

Coefficiente de amortiguamiento χ

	$\chi = \frac{c}{c_c}$	(25)
--	------------------------	------

La relación que más va a definir como se comporte el sistema será f/f_0 .

Este cociente debe ser siempre mayor que $\sqrt{2}$ de esta forma estaremos en la zona de atenuación de vibraciones.

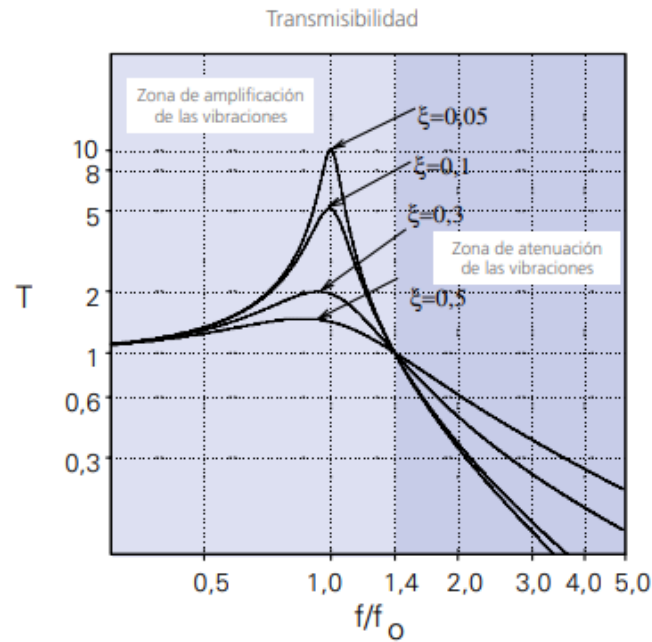


Ilustración 76 - Gráfico transmisibilidad de vibraciones

2.6.2 Elección de componentes

Con el fin de simplificar al máximo el diseño se ha optado por buscar antivibratorios comerciales que puedan dar cumplimiento a las necesidades debido a la vibración del motor. En el mercado existen infinidad de modelos distintos y de materiales. En la siguiente imagen se pueden observar alguno de los más comunes.



Ilustración 77 - Soportes antivibratorios (Fuente: Paulstra)

Si bien es cierto que existen muchos modelos distintos, se debe de seleccionar el más adecuado para esta finalidad y que mantenga el diseño lo más equilibrado posible.

Los antivibratorios de husillo son los más comunes y los que ofrecen más variedad de constante de amortiguamiento. Por este motivo, por la simplicidad y por tamaño reducido que ofrecen, se ha seleccionado este tipo de elemento.



Ilustración 78 - Antivibratorio de husillo (Fuente: RS componentes)

Se han seleccionado 2 antivibratorios distintos y 2 configuraciones posibles. Los antivibratorios son:

- Paulstra Hutchinson $\varnothing = 25.5$; L=30
- RS PRO $\varnothing = 25$; L=20

Y las configuraciones son:

- Etapa simple de 4 antivibratorio
- Etapa doble de 4 antivibratorios

Tabla 12 - Comparativa antivibratorios

Valores estaticos		
	Paulstra	RS PRO
Carga a cizalladura(daN)	8	8
Desviacion(mm)	6	4
Carga compresion(daN)	50	50
Desviacion(mm)	7,5	7,5
K cizalladura (N/m)	20000	13333
K compresión (N/m)	66666	66666
A(mm)	25.5	25
B(mm)	30	20
C(mm)	6	6
G(mm)	18	18

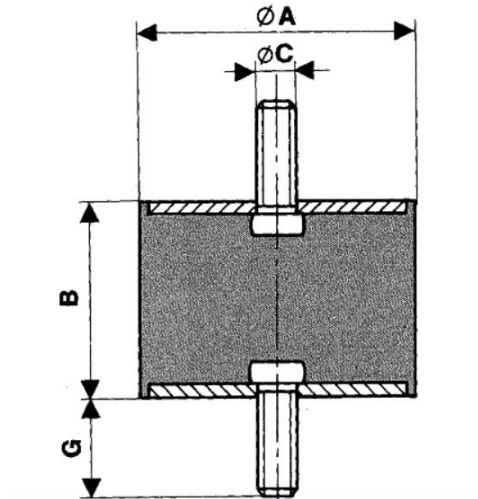


Ilustración 79 - Dimensiones antivibratorios

2.6.3 Cálculo de los antivibratorios seleccionados

Se va a realizar el calculo con los dos antivibratorios y las dos configuraciones, obteniéndose así 4 posibles diseños finales. Se descarta la combinación de etapa doble y una combinación de los dos antivibratorios para prevenir posibles errores de montaje y facilitar la cadena de suministro.

2.6.3.1 Etapa simple paulstra

Tabla 13 - Etapa simple paulstra

Etapa simple	
Calculo aislamiento	
Peso motor	4
RPM	2800
Frecuencia Excitatriz (F)	46,6666667
frecuencia natural(F0)	18,4427778
F/F0	2,53034912

2.6.3.2 Etapa doble paulstra

Tabla 14 - Etapa doble Paulstra

Etapa doble	
Calculo aislamiento	
Peso motor	4
RPM	2500
Frecuencia Excitatriz (F)	41,6666667
frecuencia natural(F0)	13,0410133
F/F0	3,19504825

2.6.3.3 Etapa simple RS PRO

Tabla 15 - Etapa simple RSPRO

Etapa simple	
Calculo aislamiento	
Peso motor	4
RPM	2500
Frecuencia Excitatriz (F)	41,66666667
frecuencia natural(F0)	22,58769757
F/F1	1,844661968

2.6.3.4 Etapa doble RS PRO

Tabla 16 - Etapa doble RS PRO

Etapa doble	
Calculo aislamiento	
Peso motor	4
RPM	2500
Frecuencia Excitatriz (F)	41,66666667
frecuencia natural(F0)	15,97191412
F/F0	2,608745974

Se busca una f/f_0 superior a 1,4 y las cuatro configuraciones lo cumplen, pero cuanto mas alejado este el valor de 1,4 mejor se comportará aunque tendrá mayores oscilaciones. Por estos dos motivos se ha seleccionado la configuración de etapa doble de antivibratorios de RS PRO.

2.6.4 Diseño geométrico final

El sistema de amortiguamiento constará de 15 elementos mas tornillería para fijarlo. Estos elementos son:

Elemento	Unidades
Antivibratorio RS PRO	8
Separadores de aluminio	4
Cuaderna de motor	1
Cuaderna	2

2.6.4.1 Separador de aluminio

Mecanizado partiendo de aluminio 7075 t6 con roscado interno de M6 para fijar los antivibratorios.

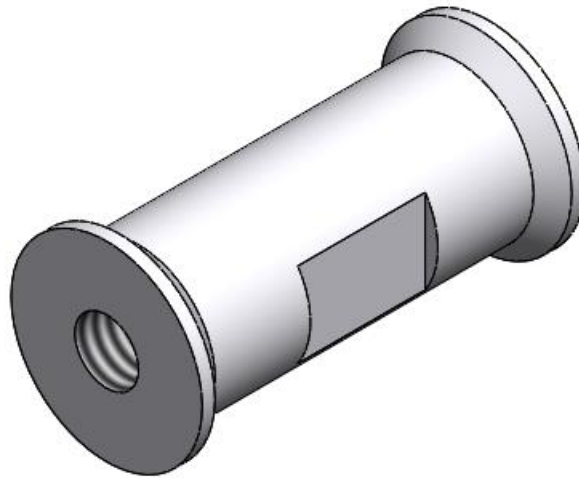


Ilustración 80 - Separador de aluminio

2.6.4.2 Cuaderna de motor

Elemento encargado de hacer de interfaz entre el motor y el resto del sistema de amortiguamiento. Fabricada en aluminio de la serie 5 para poder ser mecanizada mediante corte por plasma. Posee un plegado para servir de apoyo al soporte de la tobera de refrigeración.

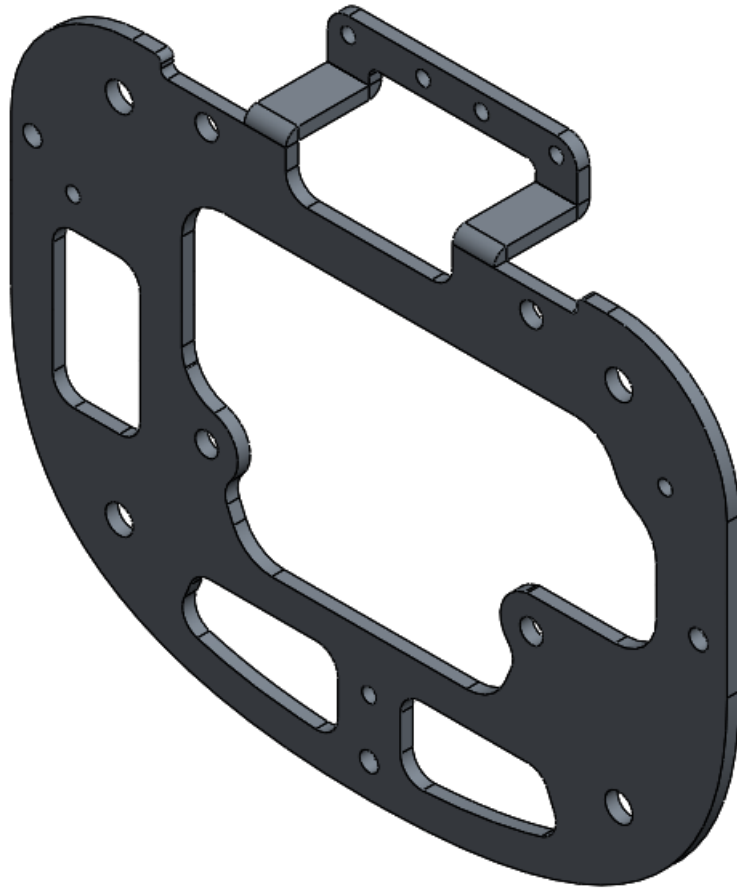


Ilustración 81 - Cuaderna motor

2.6.4.3 Cuaderna

Este elemento sirve de separación entre la plataforma y el motor. Fabricada en aluminio de la serie 5 para poder ser mecanizada mediante corte por plasma.



Ilustración 82 – Cuaderna

2.6.5 Análisis modal

Una vez finalizado el diseño del sistema de amortiguamiento se puede realizar un análisis modal para determinar si el diseño es correcto o si necesita modificaciones. Un análisis modal consiste en estudiar las frecuencias naturales de una estructura, es decir, analizar cómo se comporta la estructura sometida a una vibración determinada. Este análisis nos dará información del comportamiento del motor en todas las fases de funcionamiento y de esta forma corroborar la idoneidad de los antivibratorios seleccionados.

El objetivo de esta simulación es conocer cuál es la frecuencia natural de la estructura y conocer sus primeros modos propios. Es importante que la frecuencia natural este lo más alejada posible de las frecuencias producidas por el motor. El rango de frecuencias del motor es el siguiente:

Tabla 17 - Frecuencias del motor

RPM	Frecuencia (Hz)
3000	50
7000	117

Para realizar la simulación se va a utilizar el módulo simulation de solidworks, este cuenta con un apartado de análisis modal. El primer paso que se debe de realizar a la hora de hacer la simulación es determinar el módulo elástico del material que compone el silent block. El fabricante solo facilita la deformación y la carga a la que se produce dicha deformación. Haciendo ingeniería inversa se obtiene que el módulo de elasticidad del material es 2MPa.

Conocido este dato, la posición del centro de gravedad de la parte que cuelga de la cuaderna motor y la masa, se puede realizar una simulación para comprobar los cálculos de amortiguamiento.

2.6.5.1 Condiciones de contorno

Dentro del módulo de solidworks se debe de definir las condiciones a las que estará sometida la estructura. Para simular el peso del motor se ha realizado un prisma con su mismo peso y centro de gravedad. Realizando el prisma se obtienen mejores resultados que con una masa remota.

Estas son:

Tabla 18 - Condiciones de contorno

Gravedad	-9.8 m/s ²
Masa del motor	4kg
Masa del prisma	4.01kg
Fijaciones	Caras planas de los silent blocks más alejados del motor
Centro de gravedad	X=0mm Y=-14.42mm Z=96.5mm

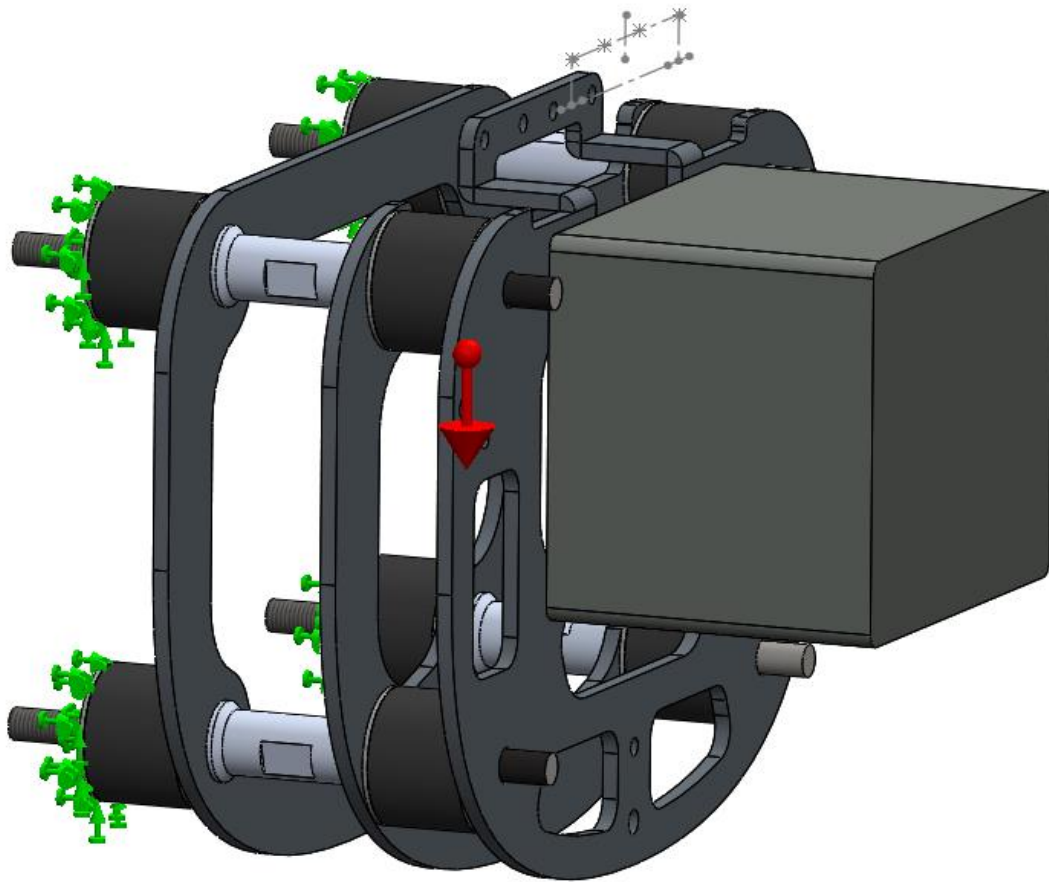


Ilustración 83 - Condiciones de contorno

2.6.5.2 Mallado

Al ser mayoritariamente superficies planas y simples se ha optado por realizar una malla básica compuesta por tetraedros. Se ha tenido especial precaución en que todos los componentes tengan al menos 3 elementos de malla por sección.

Nombre del modelo: WK-I001-500-006144 - CTO. CUADERNAS MOTOR
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Malla Calidad1

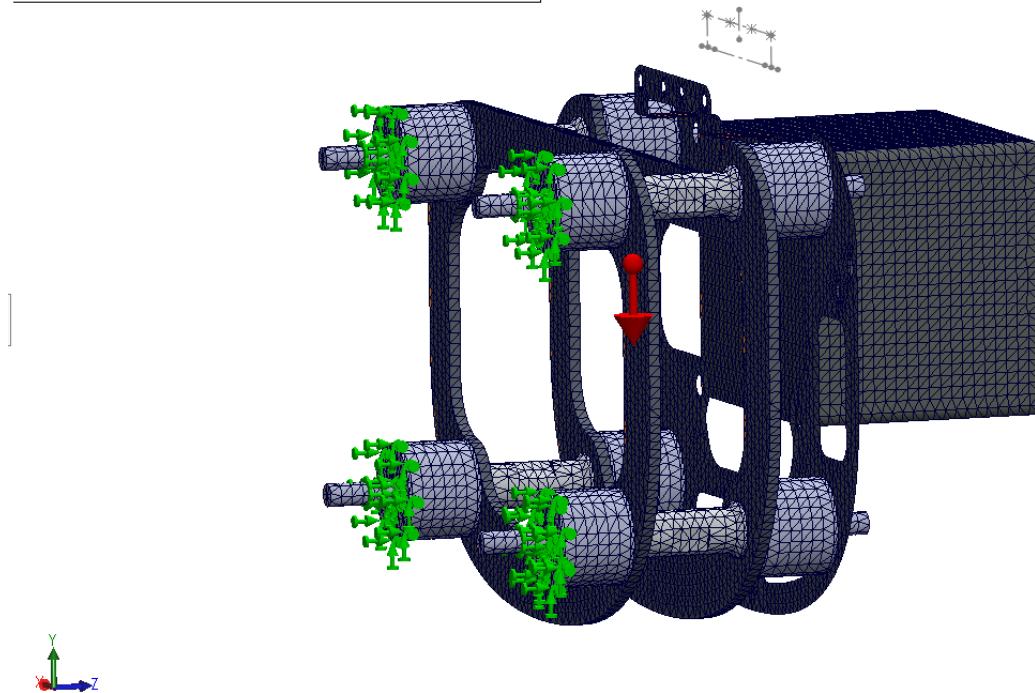


Ilustración 84 – Mallado

2.6.5.3 Resultados

El software nos facilita los 5 primeros modos de excitación del conjunto.

Tabla 19 - Modos propios

Nº	Frecuencia (Hz)
1	9.96
2	11.07
3	25.361
4	29.464
5	51.114

Nombre del modelo: WK-1001-500-006144 - CTO. CUADERNAS MOTOR
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud1
Forma modal: 1 Valor = 9,9689 Hz
Escala de deformación: 0,0307293

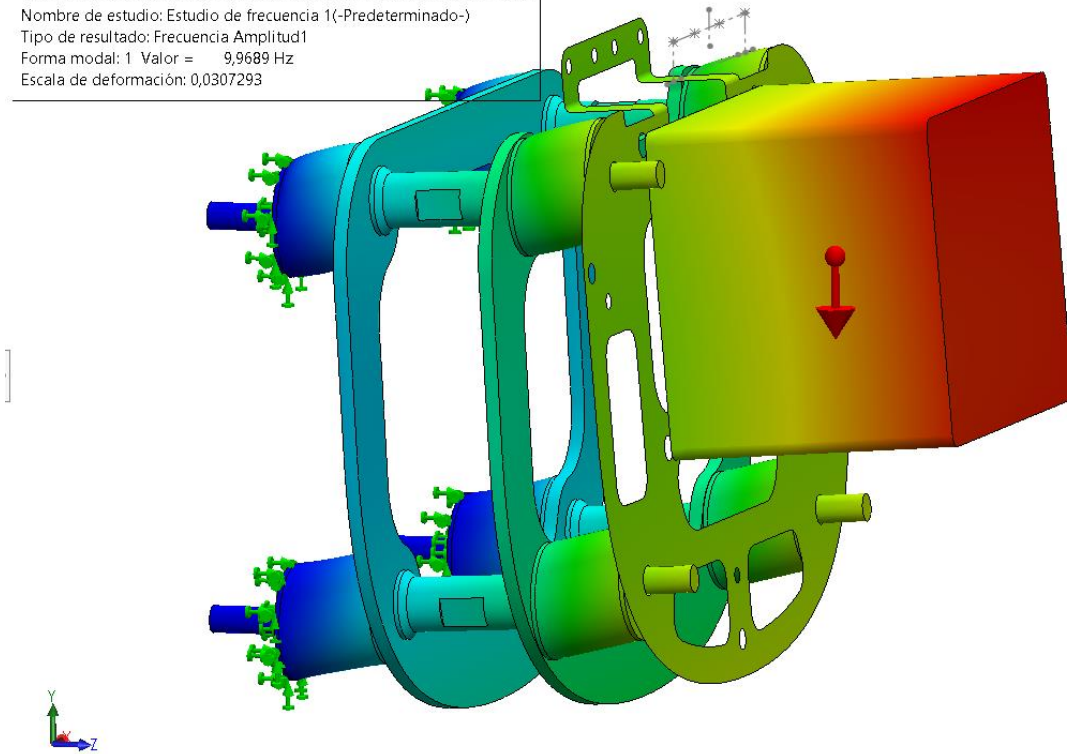


Ilustración 85 - Modo propio 1

Nombre del modelo: WK-1001-500-006144 - CTO. CUADERNAS MOTOR
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud1
Forma modal: 2 Valor = 11,07 Hz
Escala de deformación: 0,0308137

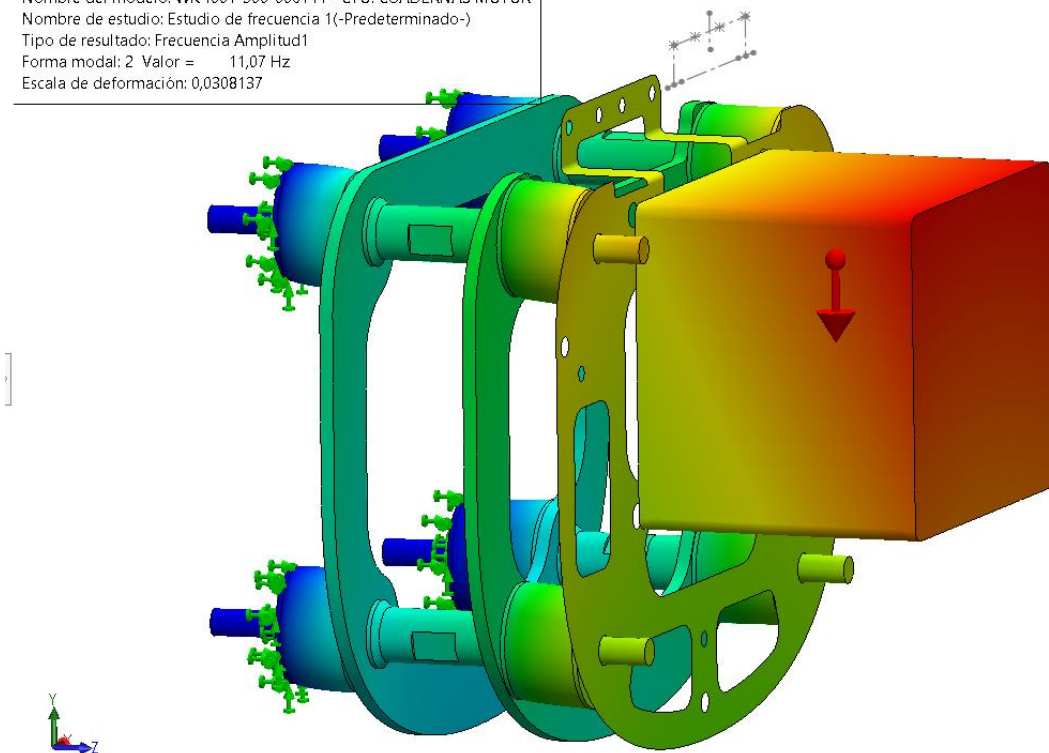


Ilustración 86 - Modo propio 2

Nombre del modelo: WK-I001-500-006144 - CTO. CUADERNAS MOTOR
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud1
Forma modal: 3 Valor = 25,361 Hz
Escala de deformación: 0,0296397

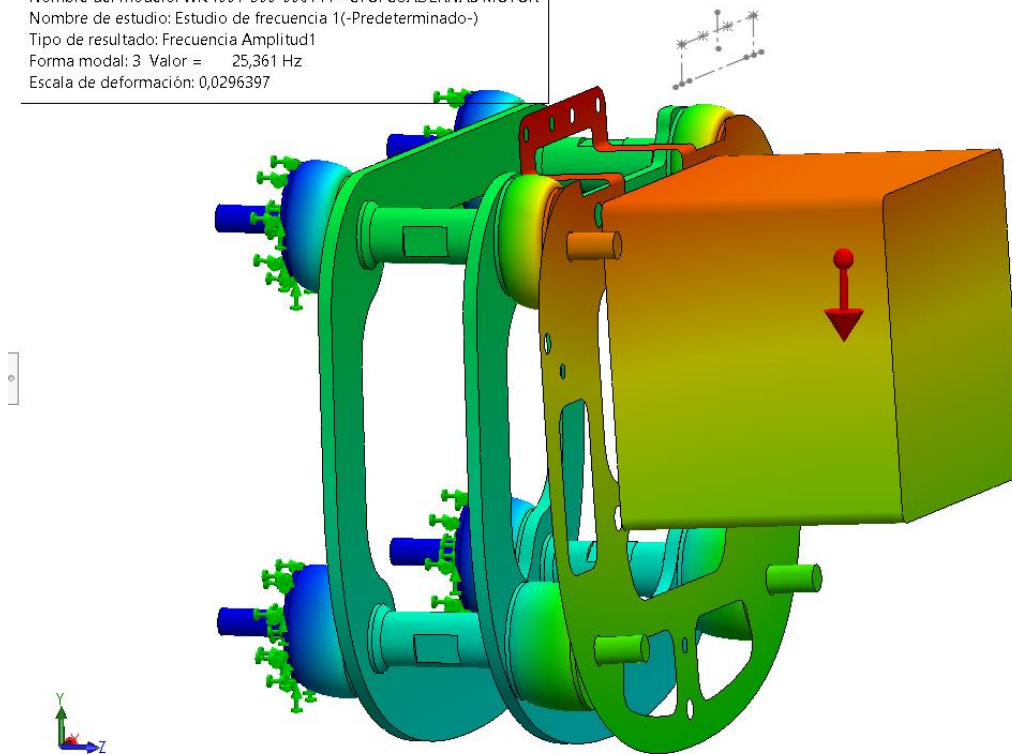


Ilustración 87 - Modo propio 3

Nombre del modelo: WK-I001-500-006144 - CTO. CUADERNAS MOTOR
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud1
Forma modal: 4 Valor = 29,464 Hz
Escala de deformación: 0,0145696

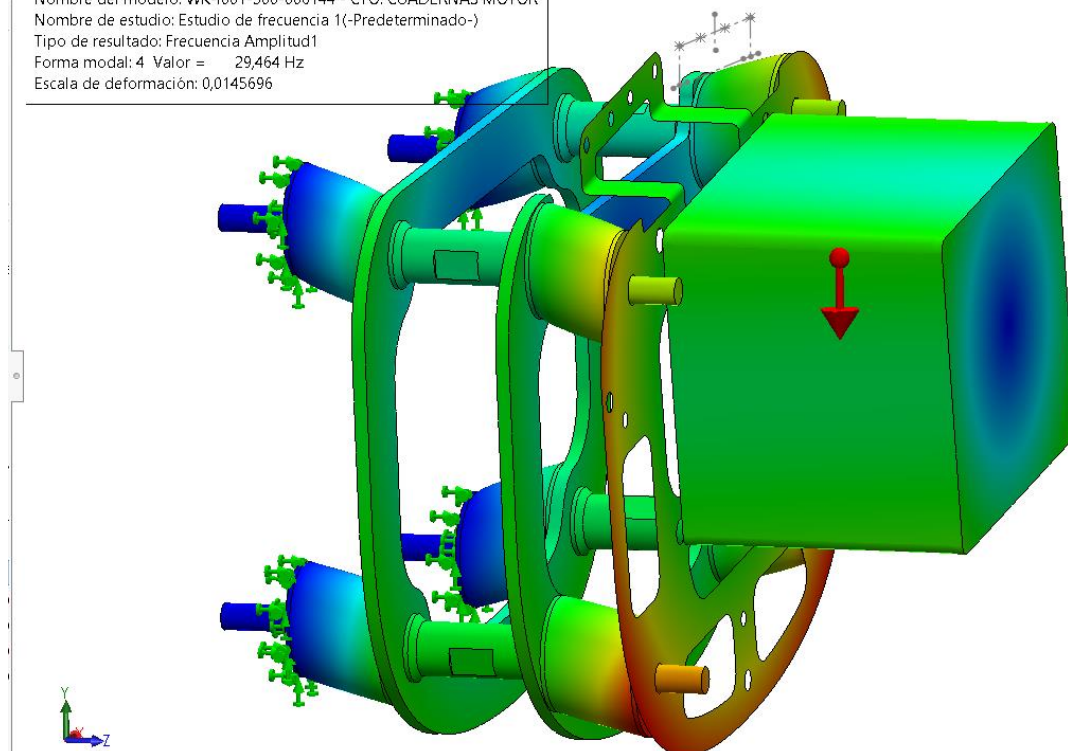
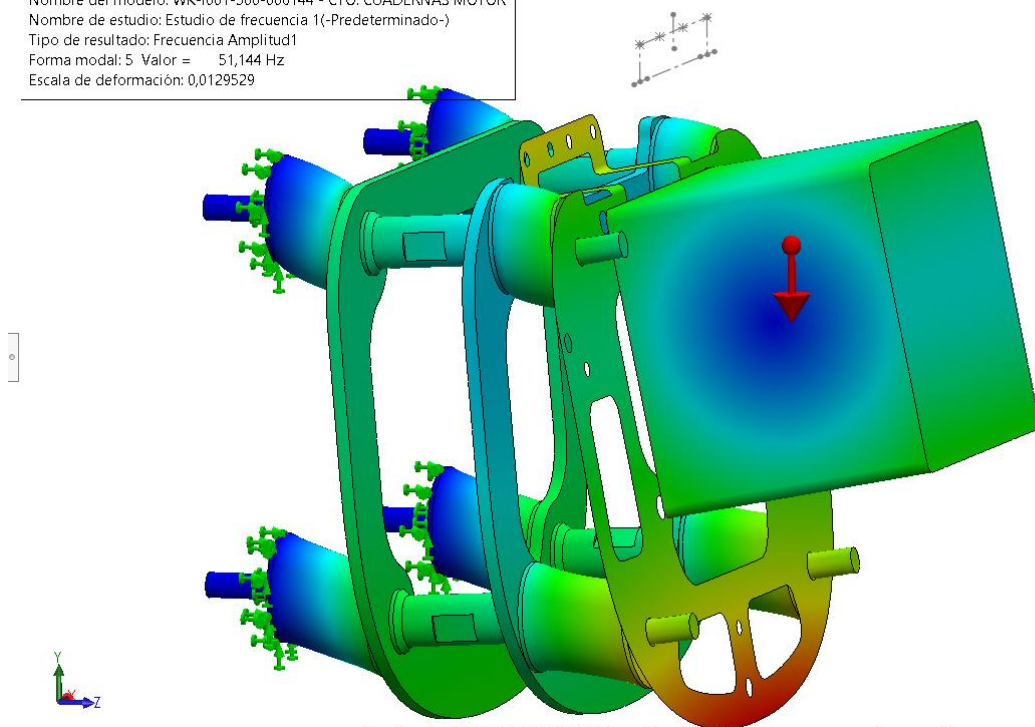


Ilustración 88 - Modo propio 4

Nombre del modelo: WK-I001-500-006144 - CTO. CUADERNAS MOTOR
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud1
Forma modal: 5. Valor = 51,144 Hz
Escala de deformación: 0,0129529



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ilustración 89 - Modo propio 5

2.6.6 Conclusiones

Una vez realizados los cálculos de las etapas necesarias y de los antivibratorios más adecuados para el sistema se ha realizado el análisis modal en el que encontramos que los 5 modos propios de vibración están por debajo de la frecuencia de trabajo del motor. Debido a que el único momento en el que se podría tener problemas es durante la fase de arranque y ya que el método de arranque es mediante un arrancador manual, que en el momento del arranque aumentara mucho la masa del conjunto cambiando la frecuencia propia del conjunto.

2.7 Sistema de encendido

El motor 3W 55 viene equipado con un encendido electrónico que con ayuda de un sensor de efecto hall situado en el eje del cigüeñal da la chispa en el momento adecuado. Este sistema necesita una alimentación de 12VDC. Este sistema es tremendamente simple por lo que se descartan posibles fallos.



Ilustración 90 - Encendido electrónico (Fuente: 3W modellmotoren)

De igual forma se ha realizado un estudio para instalar dos encendidos independientes con dos bujías, el fin de este estudio es redundar un sistema crítico que pueda producir una parada de motor por un mal funcionamiento. La mejora en el rendimiento del frente de llama es despreciable debido al tamaño reducido del cilindro.

El sistema de doble encendido será un extra que se utilizará en función de las necesidades de cada caso.

Para la instalación de dos bujías en el cilindro es necesario mecanizar la parte superior como se muestra en la imagen siguiente.

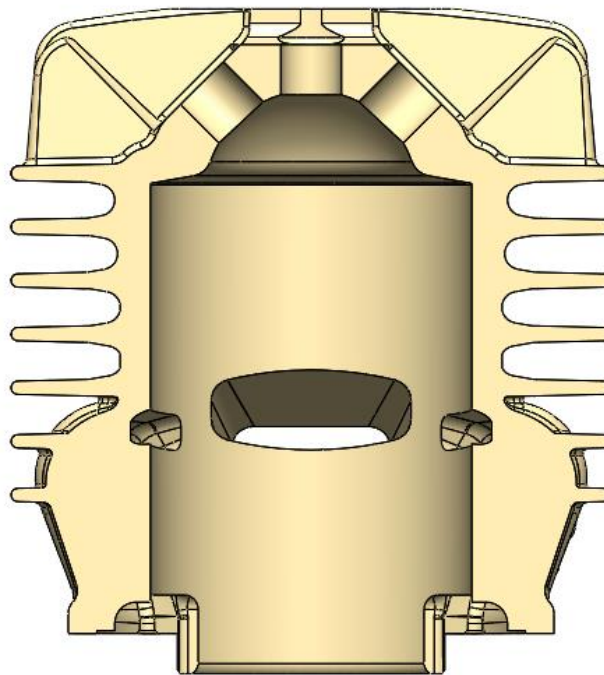


Ilustración 91 - Mecanizado bujías cilindro

2.8 SENSORES

Para gestionar el control del motor se deben de instalar al menos una serie de sensores. Con ayuda de estos sensores el motor será capaz de gestionar el control de la mezcla a través de la ECU. Los sensores necesarios son:

2.8.1 Cylinder head temperatura sensor (CHT)

Este sensor es el encargado de medir la temperatura a la que se encuentra el motor. Es un sensor que tiene una alta importancia en el funcionamiento correcto del motor, ya que si el motor opera fuera del rango ofrecido por el fabricante ($150^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$) se acorta la vida útil. Debido a la criticidad de este sensor se ha tomado la decisión de redundar su lectura instalando dos sensores.

El sensor seleccionado tiene que cumplir las siguientes características:

Tabla 20 - Características sensor de temperatura

Característica	Valor
Rango de temperatura	$0^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$
Tolerancia	$\pm 3^{\circ}\text{C}$

2.8.1.1 Selección del sensor de temperatura

En el mercado existen gran variedad de sensores de medida de temperatura entre los más usados destacan:

- Sensor de temperatura termopar
Están compuestos por dos cables de distinta aleación unidos entre si en el extremo de medida. Cuando se expone esta unión a un gradiente de temperatura, el flujo de energía genera una fuerza electromotriz en esta zona. Esta fuerza electromotriz produce una lectura de voltaje en los extremos del sensor. Para la lectura de este voltaje se necesita una instrumentación asociada.
Para convertir la lectura de voltaje en temperatura existen tablas de referencia para cada tipo de termopar en función de su aleación.
Según la aleación se tiene un rango de medidas u otro y una tolerancia.

Tipos	Tolerancia clase 1
Tipo T	
Rango de temperatura	-40°C a +125 °C
Tolerancia	±0.5°C
Rango de temperatura	+125°C a +350 °C
Tolerancia	±0.004 t
Tipo E	
Rango de temperatura	-40°C a +375 °C
Tolerancia	±1.5°C
Rango de temperatura	+375°C a +800 °C
Tolerancia	±0.004 t
Tipo J	
Rango de temperatura	-40°C a +375 °C
Tolerancia	±1.5°C
Rango de temperatura	+375°C a +750 °C
Tolerancia	±0.004 t
Tipo K, Tipo N	
Rango de temperatura	-40°C a +375 °C
Tolerancia	±1.5°C
Rango de temperatura	+375°C a +1000 °C
Tolerancia	±0.004 t
Tipo R, Tipo S	
Rango de temperatura	0°C a +1100 °C
Tolerancia	±1°C
Rango de temperatura	+1100°C a +1600 °C
Tolerancia	±[1 + 0.003 (t - 1100)] °C

Ilustración 92 - Rango y tolerancia de los termopares (Fuente: TC medida y control)

Este tipo de sensores muestra el problema que necesitan una compensación fría para se consiga una medida fiable. Además, se debe de utilizar el conductor de la aleación seleccionada por lo que muchas veces estos conductores son frágiles y no soportan bien las vibraciones.

- Sensor RTD o Termorresistencia PT100

La resistencia que muestra un cable eléctrico guarda relación con la temperatura, esto es debido al movimiento de electrones. La medida que se obtiene es una medida de la resistencia y esta medida se compara con una a 0°C. El material de estos sensores es platino en la actualidad.

Para obtener la temperatura partiendo de las medidas de resistencia se debe aplicar la siguiente fórmula para t>0°C:

	$\frac{R_t}{R_0} = 1 + At + Bt^2$	(26)
--	-----------------------------------	------

Fórmula para t<0°C

	$\frac{R_t}{R_0} = 1 + At + Bt^2 + Ct^3(t - 100)$	(27)
--	---	------

Siendo:

t = temperatura en °C

R_t = valor resistivo a la temperatura t

R_0 = valor resistivo a 0°C

A, B, C = constantes

Según el rango que se necesite se tiene una precisión distinta

Temperatura °C	Tolerancia IEC 60751			
	Clase A		Clase B	
	± °C	± Ohms	± °C	± Ohms
-200	0.55	0.24	1.3	0.56
-100	0.35	0.14	0.8	0.32
0	0.15	0.06	0.3	0.12
100	0.35	0.13	0.8	0.30
200	0.55	0.20	1.3	0.48
300	0.75	0.27	1.8	0.64
400	0.95	0.33	2.3	0.79
500	1.15	0.38	2.8	0.93
600	1.35	0.43	3.3	1.06
650	1.45	0.46	3.6	1.13
700	-	-	3.8	1.17
800	-	-	4.3	1.28
850	-	-	4.6	1.34

Ilustración 93 - Rango y precisión PT100 (Fuente: TC medida y control)

Existen otros tipos de sensores, pero son menos adecuados para las necesidades de este proyecto debido a que o bien son mecánicos con un dial incorporado o por problemas de espacio no son adecuados.

Teniendo en cuenta que los sensores tipo termopar no soportan bien las vibraciones se ha optado por elegir un sensor tipo PT100 para la lectura de temperatura de motor.

2.8.1.2 Diseño del sensor

Este tipo de sensores se comercializan en multitud de formatos por lo que se debe de seleccionar el que más se adapte a nuestro caso. El fabricante recomienda que el sensor se instale directamente en la cámara de combustión con una pared entre la cámara de combustión de en torno a 3mm. Por lo que la forma más fácil de conseguir este objetivo es mecanizando una rosca en la parte superior del cilindro. Para estandarizar todos los mecanizados y que no induzca a errores se va a realizar el mismo mecanizado que para las bujías. Obteniendo el mismo resultado que para el doble encendido.

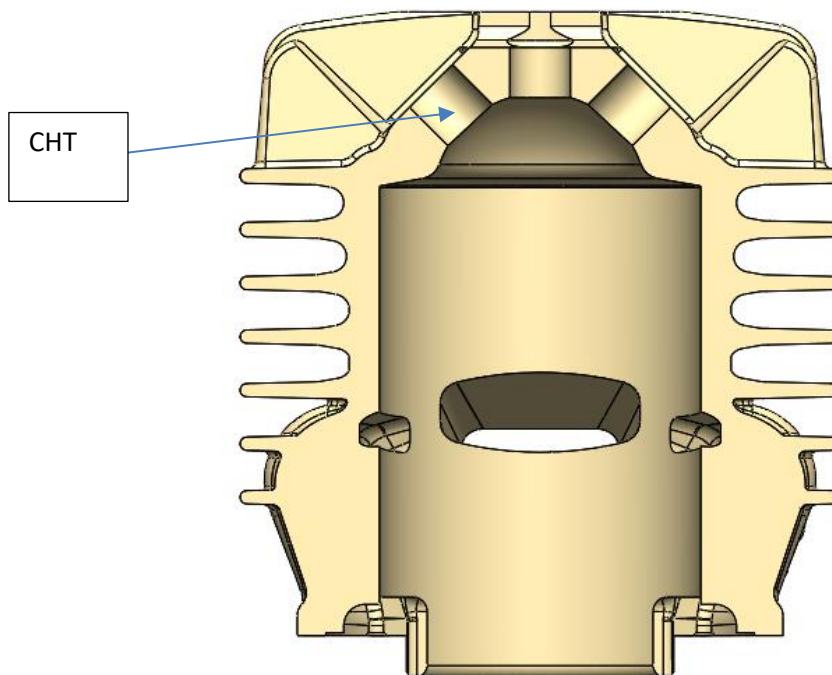


Ilustración 94 - Ubicación de la CHT

El modelo de PT100 seleccionado es de tipo vaina, por lo que se debe de insertar en un termo pozo que encaje en el roscado del cilindro y a su vez haga de interfaz y soporte la vaina.



Ilustración 95 - PT100 de tipo vaina

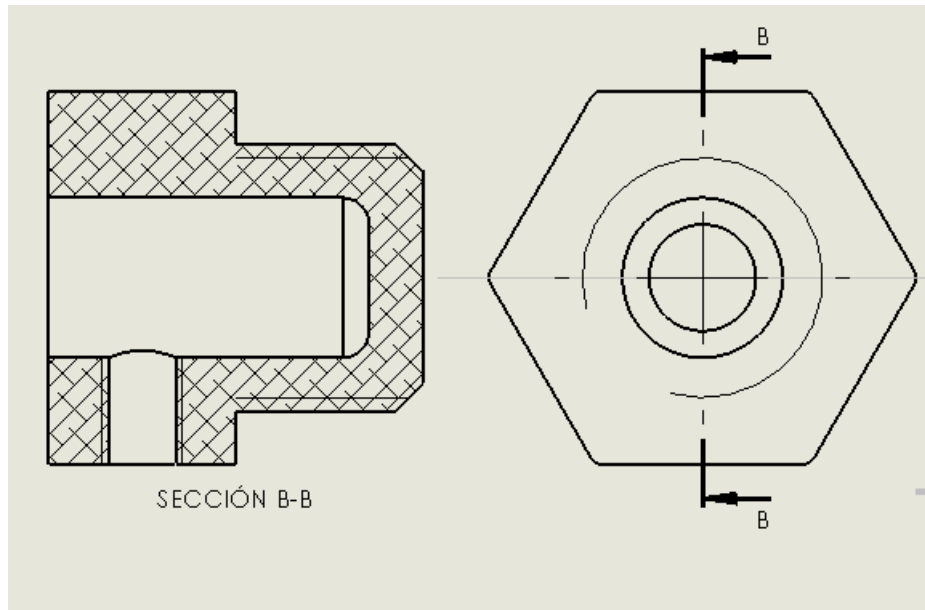


Ilustración 96 - Termopozo CHT

2.8.2 Modos de fallo de los sensores

El motor completo consta de muchos componentes y cada uno de ellos puede producir unos tipos de fallos distintos con unas consecuencias también distintas. Durante la operación de una aeronave los fallos pueden tener unas consecuencias mayores según el fallo.

Para evaluar los modos de fallo se deben de seguir los siguientes pasos:

1. Análisis de los posibles fallos, los modos de fallo se van a analizar por elementos independientes, de esta forma se tendrá mayor control de todos ellos.
2. Evaluación del fallo, los fallos se evaluarán siguiendo esta tabla

Tabla 21 - Evaluación de los fallos

Fallo	Severidad	Acciones
	Catastrófica	
	Critica	
	Moderada	
	Insignificante	

3. Plan de contingencia, se deben de tomar unas acciones para mitigar el fallo.

Los sensores pueden tener fallos de lectura o un fallo total por el que no se mostraría ningún dato. Según el sensor que falle las consecuencias pueden ser distintas.

- CHT, este sensor esta redundado, pero a pesar de ello la lectura diferente en uno de ellos puede provocar duda de cuál es la correcta. También puede darse la situación en la que uno de los dos sensores deje de tomar medidas.
- Fallo de TPS del servomotor
- Fallo del sensor de presión de combustible
- Fallo del sensor de efecto hall

Tabla 22 - Modos de fallo sensores

Fallo	Severidad	Acciones
CHT, fallo doble	Critica	Mostrar alarma al piloto. Abrir tobera de refrigeración y ordenar al piloto regresar
CHT, fallo simple	Moderada	Mostrar alarma al piloto
Fallo TPS servomotor	Critica	Mostrar alarma, comprobar respuesta del motor con el % de acelerador comandado. Ordenar al piloto regresar.
Fallo del sensor de presión de combustible	Catastrófica	Mostrar alarma al piloto y ordenar aterrizar en zona segura más cercana
Fallo del sensor efecto hall	Catastrófica	Mostrar alarma al piloto y ordenar aterrizar en zona segura más cercana

2.9 Sistema de propulsión

Para la selección de la hélice y el resto de los componentes del sistema de propulsión se debe de tener en cuenta las recomendaciones del fabricante. Estos motores tienen la posibilidad de

funcionar con varias hélices de distintos pasos y diámetros. Esto da la posibilidad de adaptar la hélice al tipo de vuelo y tipo de aeronave.

2.9.1 Selección de la hélice

Según las recomendaciones del fabricante las hélices más adecuadas para este motor son:

Tabla 23 - Selección de hélice

Diámetro de hélice (")	Paso (")	Número de palas
20	12	4
23	11	3
21	10	3
24	8	2
23	8	2
22	12	2
22	10	2
22	8	2
21	11	2

El fabricante ofrece gran variedad de posibilidades ya que no es lo mismo una aeronave de 20Kg que va a realizar misiones de vigilancia, que busca aumentar el empuje minimizando las RPM, o un aeromodelo que va a realizar acrobacias y necesita mucho empuje a máximas RPM.

Como hélice base se selecciona una hélice bipala de 22" x 12" y durante la realización de los primeros vuelos se determinará su idoneidad.

La hélice se une al motor con ayuda de 5 tornillos DIN 912 de M5 x 50mm.

Capítulo 3. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

El proyecto se considera satisfactorio ya que se ha logrado diseñar un sistema propulsor para una aeronave no tripulada. Además, se ha mejorado y actualizado el sistema de suministro de combustible mediante una inyección electrónica.

Otro factor importante es el diseño de la tobera de refrigeración activa, este sistema permitirá al motor operar sin importar las condiciones meteorológicas, pudiendo cumplir con la misión en climas muy fríos y cálidos. Es una mejora necesaria para este tipo de motores ya que sin este tipo de sistemas la vida útil del motor se acorta de manera significativa y se producen paradas de motor inesperadas.

El diseño de subsistemas para un motor es tan amplio como uno quiera desarrollar por lo que quedan ciertos aspectos que se deberán tratar a futuro. Entre estos aspectos se recomienda realizar los siguientes desarrollos:

1. Sistema de escape

Este es un aspecto fundamental en según qué aeronaves. Por problemas de espacio muchas plataformas no pueden utilizar un sistema de escape comercial y necesitan un escape hecho a medida para poder satisfacer sus requisitos de espacio. Para el diseño del escape se debe de tener especial cuidado en el cálculo de las expansiones y las longitudes de los tramos. Un mal calculo puede perjudicar en el rendimiento del motor ya que puede producir una restricción.

Además, es importante seleccionar un material acorde para la realización del sistema de escape. Al ser una tirada unitaria o de pocas unidades una alternativa puede ser realizar la fabricación mediante fabricación aditiva de aluminio.

2. Sistema de control de motor

Una unidad de control es necesaria para el control del motor. Para este aspecto existen dos posibles alternativas:

- ECU comercial: existen muchos fabricantes de unidades de control de motor que ofrecen sus sistemas de forma libre para que se puedan ajustar los parámetros de motor y se adapten a las necesidades de cada sistema. Esta alternativa ofrece la ventaja de tener a un fabricante con experiencia y la posibilidad de asistencia técnica. El problema intrínseco es que estas ECU suelen estar destinadas para motores de 4 tiempos y 4, 6, 8 cilindros por lo que gran parte de la tecnología que tienen no se emplearía y subiría el coste del producto. Algunos de los fabricantes más conocidos son: Megasquirt, motec, currawong, AEM.
- ECU a medida: El desarrollo de una centralita programable para el control de un motor mono cilíndrico de 2 tiempos no es una tarea muy complicada si se tienen los conocimientos de electrónica necesarios. Una centralita a medida tiene las ventajas de la reducción en coste y la personalización en función de las necesidades. El único inconveniente es el desarrollo que necesita ya que se precisa de un hardware, un software, un firmware y una aplicación de control.

BIBLIOGRAFÍA

Brevoort, M J. «Air Flow Around Finned Cylinders», NACA-TR-555, 1 de enero de 1937.
<https://doi.org/93R20920>.

Chuwei Chen. «Simulation Analysis and Design of Intake Restrictor of FSAE Race Car». 751-756
602-605 (s. f.): 7.

Dominic Wentworth-Linton,. «A Computational Study of the Effect of Intake Design on
Volumetric Efficiency for Best Performance in Motorsport». 1007277 11, n.º 5 (2017): 5.

Heywood, John. *Internal combustion engine fundamentals*. Mc Graw Hill, s. f.

Jennings, Gordon. *Two strokes tuner's handbook*. HP trade, 1987.

Larburu, N. *Prontuario de máquinas*. 13.^a ed. Paraninfo, s. f.

Payri, F. *Motores de combustion interna alternativos*. Reverte, s. f.

Qiao, Yuan, Xucheng Duan, Kaisheng Huang, Yizhou Song, y Jianan Qian. «Scavenging Ports'
Optimal Design of a Two-Stroke Small Aeroengine Based on the Benson/Bradham Model». *Energies* 11, n.º 10 (12 de octubre de 2018): 2739. <https://doi.org/10.3390/en11102739>.

«SOLIDWORKS FLOW SIMULATION 2021». Solidworks, s. f.

Yuan Qiao, Li Lin. «Investigation on the Performance Characteristics of 2-Stroke Heavy Fuel
Light Aeroengine (2SHFLA) with Different Fuel Injection Systems: Modeling and Comparative
Simulation», s. f.

ANEXO A: Plan de gestión de riesgos

Introducción

Se define al plan de Gestión de Riesgos como un proceso continuo e iterativo que debe ser tomado como elemento clave y parte esencial de la gestión normal de cualquier proyecto.

El proceso de gestión de riesgos es un proceso de cinco etapas o subprocesos, secuencial e iterativo que consta de las siguientes etapas:

- Planificación de la gestión de los riesgos
- Identificación de los riesgos
- Análisis de los riesgos
- Planificación de la respuesta a los riesgos
- Supervisión y control de los riesgos

Identificación de los riesgos

La identificación de los riesgos tiene como objetivo:

- Elaboración de listado de riesgos
- Análisis de las causas del riesgo
- Elaboración de un plan de acción

Estas tres tareas son fundamentales durante todo el proyecto y definitivas en cuanto al éxito o al fracaso del proyecto. Dependiendo de cada área del proyecto habrá unos factores u otros que afecten a los posibles riesgos. Se han agrupado de la siguiente manera:

Tabla 24 - Factores de riesgo

Área	Factor de riesgo
Rendimiento y fiabilidad	Diseños anteriores. Sin experiencia previa. Medios necesarios. Definición de Diseño. Extrapolación de datos. Técnicas poco conocidas. Entornos no equivalentes 100%. Fiabilidad y mantenibilidad. Instalaciones, equipos o útiles especiales. Afecta el Medioambiente.
Tecnología	Medios insuficientes Mala calidad de los elementos de base
Recursos	Recursos humanos insuficientes o con experiencia limitada Falta de formación en el campo de la aeronáutica
Planificación	Situaciones no planificadas desde el inicio Plazos de ejecución no realistas Dependencia de los proveedores
Diseño	Decisiones de diseño erróneas
Medios	Falta de medios materiales para llevar a cabo el proyecto

Impacto del riesgo

Los riesgos se deben de poder evaluar de forma cualitativa. Para su evaluación se debe seguir la siguiente tabla:

Tabla 25 - Impacto del riesgo

Clase	Severidad	Consecuencia
1	Catastrófica	Daños irreparables Un aumento del coste de mas del 50% Desviación en la planificación con mas de 50% o 3 meses
2	Critica	Daños severos Aumento del coste entre un 15% y un 50% Desviación en la planificación de un 10% al 50%
3	Moderada	Daños menores Aumento del coste entre un 5% y un 15% Desviación en la planificación de un 2% al 10%
4	Insignificante	Daños insignificantes Aumento del coste menor al 5% Desviación en la planificación menor del 2%

Probabilidad de riesgos

Se debe tener en cuenta la probabilidad de riesgo, para su valoración se usará la siguiente tabla:

Clase	Probabilidad	Probabilidad de ocurrencia
A	Muy alta	Probablemente ocurra (más de una vez por proyecto)
B	Alta	Probablemente ocurrirá (ocurre en uno de cada cinco proyectos)
C	Media	Puede ocurrir (ocurre en uno de cada veinte proyectos)
D	Baja	No es probable (ocurre en uno de cada cien proyectos)
E	Muy baja	Improbable (ocurre en uno de cada mil proyectos)

Magnitud de riesgo

Tabla 26 - Magnitud de los riesgos

	Probabilidad				
Impacto	A	B	C	D	E
1	Muy alto	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
2	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
3	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo	Muy bajo
4	Medio	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo

Respuesta a los riesgos

Una vez detectado el riesgo se debe de tomar una decisión para bien eliminarlo o mitigarlo en la medida de lo posible. Para ello se debe de seguir la siguiente tabla:

Tabla 27 - Acciones para los riesgos

Magnitud	Acciones
Muy alta	Riesgo inaceptable, se deben de tomar medidas en la base del proyecto y en su caso cancelarlo.
Alta	Riesgo inaceptable, se deben de tomar medidas en la base del proyecto y en su caso cancelarlo.
Media	Riesgo medio, se deben de considerar alternativas posibles
Baja	Riesgo aceptable, controlar el riesgo y preparar plan de contingencia
Muy baja	Riesgo aceptable, control y supervisión.

Anexo B: Control de la configuración

Para poder controlar todos los diseños se debe de realizar un plan de gestión de la configuración. Dicho plan consiste en la creación de un proceso para que cada componente tenga un nombre inequívoco y además se conozca el estado en el que se encuentra. Además, este proceso debe de obligar al usuario a documentar cualquier modificación de diseño que se realice, de esta forma nos garantizamos una trazabilidad de cambios que será muy importante a la hora de realizar nuevos diseños.

En resumen, la gestión de la configuración tiene como objetivos identificar y documentar las características funcionales y físicas de un componente; controlar los posibles cambios de diseño; dejar constancia de los cambios que pueda sufrir y dar respaldo frente a posibles auditorías.

Part number o número de pieza

El part number es el método escogido para nombrar de manera inequívoca los componentes. El part number hace referencia al número de componente y al subensamblaje que pertenece. Tienen la siguiente estructura

XX-0000-RX

- **XX:** hacen referencia al subensamblaje al que pertenecen
 - **EN** subensamblaje bloque motor
 - **IN** subensamblaje admisión
 - **EM** subensamblaje soporte motor
 - **CS** subensamblaje sistema de refrigeración
 - **IS** subensamblaje sistema de encendido
 - **SS** subensamblaje sensores
 - **PS** subensamblaje de propulsión
- **0000:** Hacen referencia al número de elemento dentro del ensamblaje. Estos elementos se ordenan en orden creciente a medida que se van creando los diseños.
- **RX:** indican el número de revisión. En el caso de no tener estos dígitos se entenderá que es el diseño de partida.

En resumen, el part number define el subensamblaje al que pertenece, el número de componente dentro de ese subensamblaje y la revisión de diseño.

Tipo de pieza

Otro factor fundamental es conocer el tipo de pieza, ya que dentro del ensamblaje existen piezas fabricadas ad hoc, elementos comerciales, elementos comerciales modificados y elementos sujetos a normas. Esta diferenciación se deberá de reflejar en una hoja Excel de control de configuración. Estas diferenciaciones se harán de la siguiente manera:

EC: Elemento comercial, adquirido de un proveedor y ensamblado en el motor.

ECM: Elemento comercial modificado, Adquirido de un proveedor adaptado y montado al motor.

ST: Elemento sujeto a norma, normalmente aplicado a tornillería, rodamientos, ...

DP: Diseño propio, elementos diseñados específicamente para el motor.

Proveedores

El seguimiento y control de los proveedores es fundamental para poder garantizar la cadena de suministro. Es por ello por lo que en la hoja Excel de configuración todos los elementos procedentes de proveedores deben de tener los datos actualizados. Estos datos son:

Proveedor

N.º de producto con referencia de proveedor

Procedencia del proveedor

Evaluación del proveedor (no conformidades, plazos, respuestas a problemas, ...)

Anexo C: PRESUPUESTO

El presupuesto de un proyecto va más allá del dinero, es un programa de gestión de gastos que va de la mano de desde la planificación hasta la entrega del proyecto. La elaboración del presupuesto debe de ser lo más detallada posible, para ello se ha dividido el proyecto en dos partidas principales:

- Etapa de diseño
- Componentes
- Costes indirectos

A su vez estas etapas cuentan con una serie de divisiones para mejorar la precisión del presupuesto.

En el presupuesto también se debe diferenciar el coste horario según la capacitación de los empleados. El coste horario se ha definido en función de la tabla salarial del convenio del metal en Madrid.

Tabla 28 - Coste horario

Equipo	Puesto	Coste (€/h)
001	Responsable de proyecto	25.6
002	Ingeniero de diseño	18.4
003	Técnico de taller	15.35

TABLA SALARIAL 2023

GRUPO	DESCRIPCIÓN FUNCIONAL	SALARIO CONVENIO ANUAL 2023 (EUROS)	SALARIO CONVENIO MENSUAL (14 PAGAS) 2023 (EUROS)	VALOR QUINQUENIO GRUPO 2023 (EUROS)	BASES GRUPO PARA CÁLCULO DE COMPLEMENTOS SALVO NOCTURNIDAD 2023 (EUROS MENSUAL/DIARIO)
1	LICENCIADO/O-GRADO	30.849,47	2.203,53	37,26	986,07
2	TÉCNICO/A	25.888,83	1.849,20	33,90	873,85
3	TÉCNICO/A AUXILIAR	23.341,64	1.667,26	31,21	796,82
4	EMPLEADO/A	20.866,87	1.490,49	29,10	733,53
5	OPERARIO/O	19.413,32	1.386,67	27,83	23,07
6	EMPLEADO/A AUXILIAR	19.210,22	1.372,16	27,20	681,63
7	OPERARIO/O AUXILIAR	18.038,90	1.288,49	26,88	22,04

Ilustración 97 - Salarios convenio del metal

Etapa de diseño

En este capítulo se ha estudiado el coste del diseño del proyecto en horas empleadas. Se ha considerado desde el planteamiento del problema hasta el diseño final del producto. En la tabla siguiente se muestra el presupuesto para esta etapa.

Tabla 29 - Tabla de partidas de diseño

Código	Equipo asignado	Descripción	Importe		
			Coste (€/h)	Número de horas	Total (€)
ED.001	001	Definición del proyecto	25.6	6	153.6
ED.002	001	Objetivos del proyecto	25.6	3	76.8
ED.003	001	Planificación	25.6	10	256
ED.004	002	Diseño funcional	18.4	40	736
ED.005	002	Diseño CAD	18.4	200	3680
ED.006	002	Simulaciones	18.4	30	552
TOTAL (€)					5454.4

Componentes

La evaluación de los componentes se ha realizado siguiendo con la clasificación de tipo de componente, es decir, si son comerciales, sujetos a normas o diseños propios. Para ello se ha elaborado la siguiente tabla:

Elementos comerciales

DESCRIPCIÓN	PN	CANTIDAD	Tipo de elemento	Fabricante	Nº de serie fabricante	Precio
CTO. BLOQUE MOTOR	EN-0001	1	EC	3W	10.000.580	989.00
Cilindro 3W 55XI TS	EN-0002	1	EC	3W	20.002.259	50.75
Eje hélice	EN-0005	1	EC	3W	20.008.510	50.41
Disco hélice	EN-0006	1	EC	3W	20.008.710	12,82
Eje motor 3W 55XI	EN-0007	1	EC	3W	20.008.820	14,95

Portalaminas	EN-0008	1	EC	3W	20.007.610	31,59
Piston	EN-0009		EC	3W	20.003.047	50,75
Láminas	EN-0010	1	EC	3W	20.007.710	13,61
Cigüeñal	EN-0011	1	EC	3W	20.001.145	192,56
Silentbloc macho-macho M6x18 Ø25.5x20mm	EM-0005	8	EC	Paulstra	521342	8,95
Servo Volz DA 15-T	IN-0006	1	EC	Volz	DA15-T	540
Inyector MEV1-038-A	IN-0007	1	EC	Loreada	MEV1-038-A	11,28
Filtro de aire	IN-0013	1	EC	Malossi	Lamina filtro	2,34
Sonda cht	SS-0004	1	EC	TC medida y control	515-350	37,7
Sensor efecto hall	SS-0005	1	EC	3W	20.010.435	44,64
Hélice Mejzlik 22x12	PS-0002	1	EC	Mejzlik	222121	104
Servo VOLZ	CS-0009	1	EC	Volz	DA15-T	540
Bujía de encendido NGK 5812 CM-6	IS-0002	1	EC	NGK	20.010.580	15,33
Módulo de encendido	IS-0003	1	EC	3W	20.010.153	242,61
Bateria de encendido 12V	IS-0004	1	EC	Kavan	16KAV336026	49,5

TOTAL (€) 3316,78

Elementos con norma

DESCRIPCIÓN	PN	CANTIDAD	Tipo de elemento	Precio
DIN 912 M5 x 16	EN-0004	4	ST	0.26
DIN 125 M6	EM-0007	8	ST	0.08
DIN 127 M6	EM-0008	8	ST	0.1
ISO 10511-M6-N	EM-0009	8	ST	0.15
ISO 7380 M3x12	IN-0010	2	ST	0.14
Polyfix 45 M2.5x8	IN-0011	4	ST	0.17
Polyfix 45 M4x16	IN-0012	2	ST	0.23
DIN 912 M5x50	PS-0003	6	ST	0.58
Polyfix 45 M3x6	CS-0010	13	ST	0.19
TOTAL (€)				11,05

Elementos de diseño propio

Para la estimación del coste de los componentes se han empleado los servicios online que ofrecen algunos proveedores.

Proveedor de mecanizados: Weerg

Proveedor de impresión 3D: Materialise

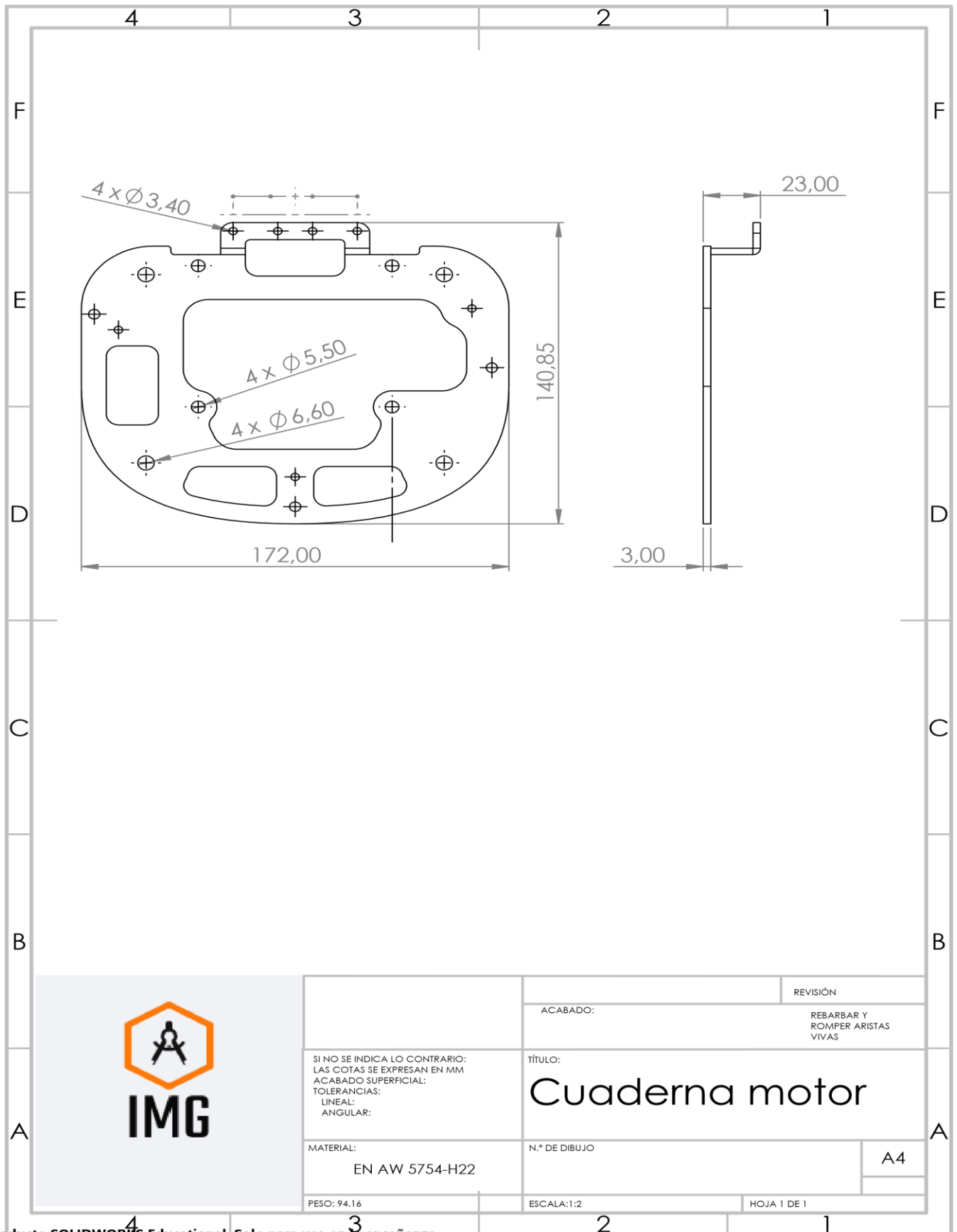
Proveedor de corte laser: Fiber laser castilla

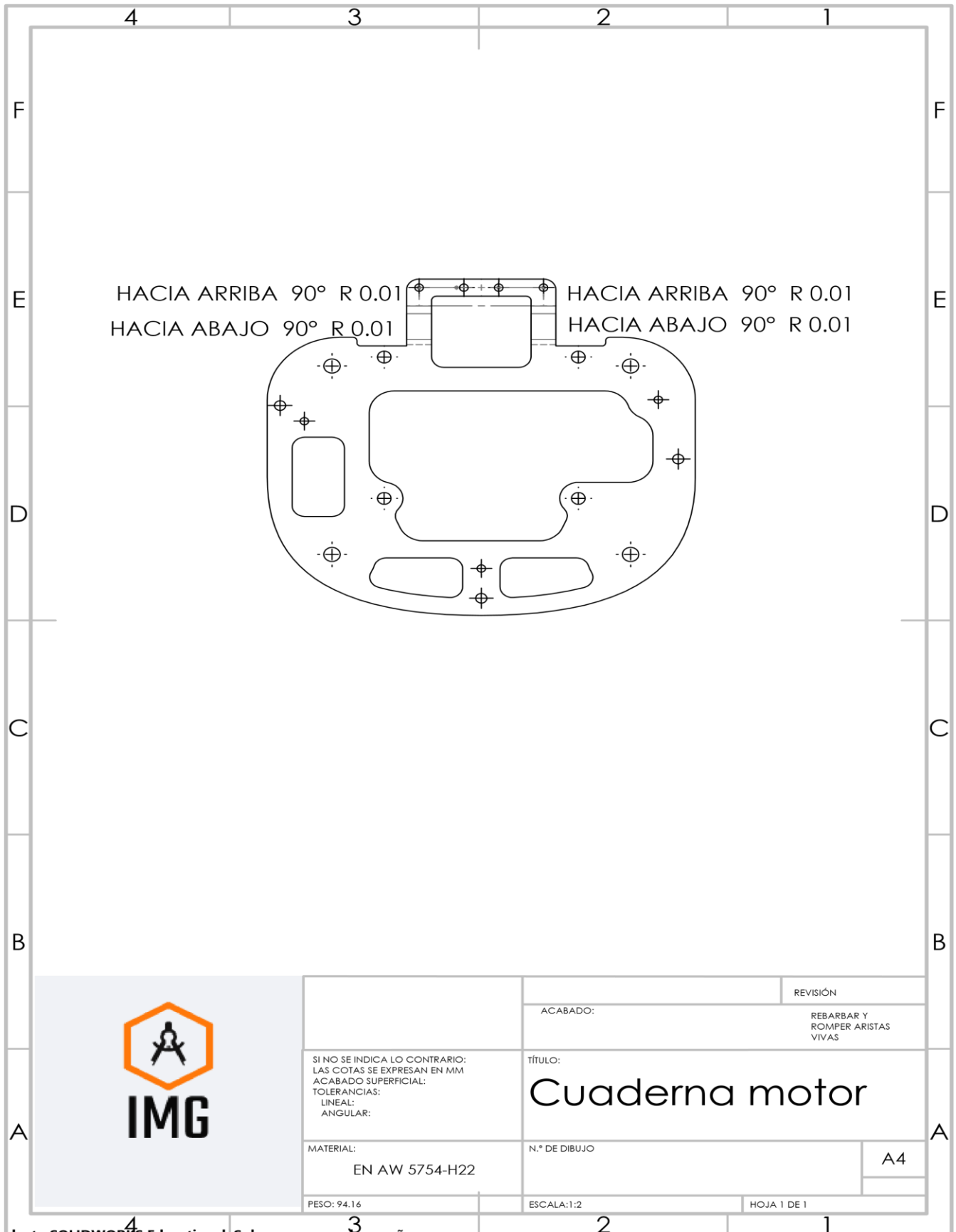
DESCRIPCIÓN	PN	CANTIDAD	Tipo de elemento	Precio
CTO. SOPORTE MOTOR	EM-0001	1	DP	
Cuaderna de motor	EM-0002	1	DP	20,7

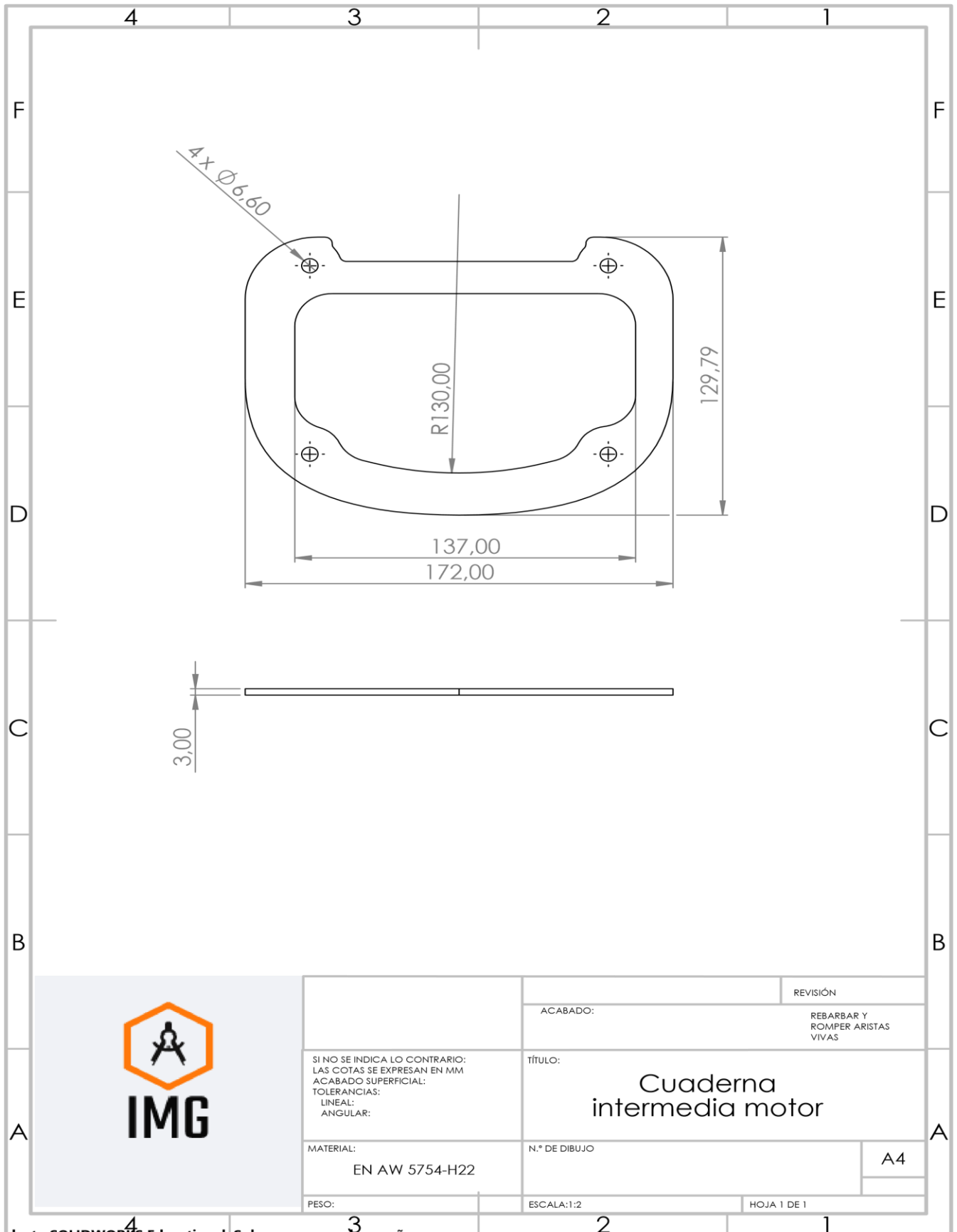
Cuaderna intermedia	EM-0003	1	DP	10,2
Cuaderna final	EM-0004	1	DP	30,5
Separador motor	EM-0006	4	DP	11,25
CTO. ADMISIÓN	IN-0001	1	DP	
Cuerpo de admisión	IN-0002- V2	1	DP	40,62
Filtro de aire	IN-0003	1	DP	13,28
Cazoleta inyeccion simple con espiga	IN-0004	1	DP	13,28
Eje admisión	IN-0005	1	DP	143,87
Refuerzo inyector	IN-0008	1	DP	13,28
Palomilla admisión	IN-0009	1	DP	2,36
CTO. SENSORES	SS-0001	1	DP	
CHT DOBLE	SS-0002	1	DP	37,7
Termopozo cht	SS-0003	1	DP	35,22
CTO. SISTEMA DE PROPULSIÓN	PS-0001	1	DP	
Cono hélice	PS-0004	1	DP	42,36
CTO. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	CS-0001	1	DP	
Tobera de refrigeración	CS-0002	1	DP	162
Carenado bujías	CS-0003	1	DP	13,28
CTO. SOPORTE TOBERA	CS-0004	1	DP	32,64
Restrictor tobera	CS-0005	1	DP	30,61
Palomilla flexible	CS-0006	1	DP	13,28

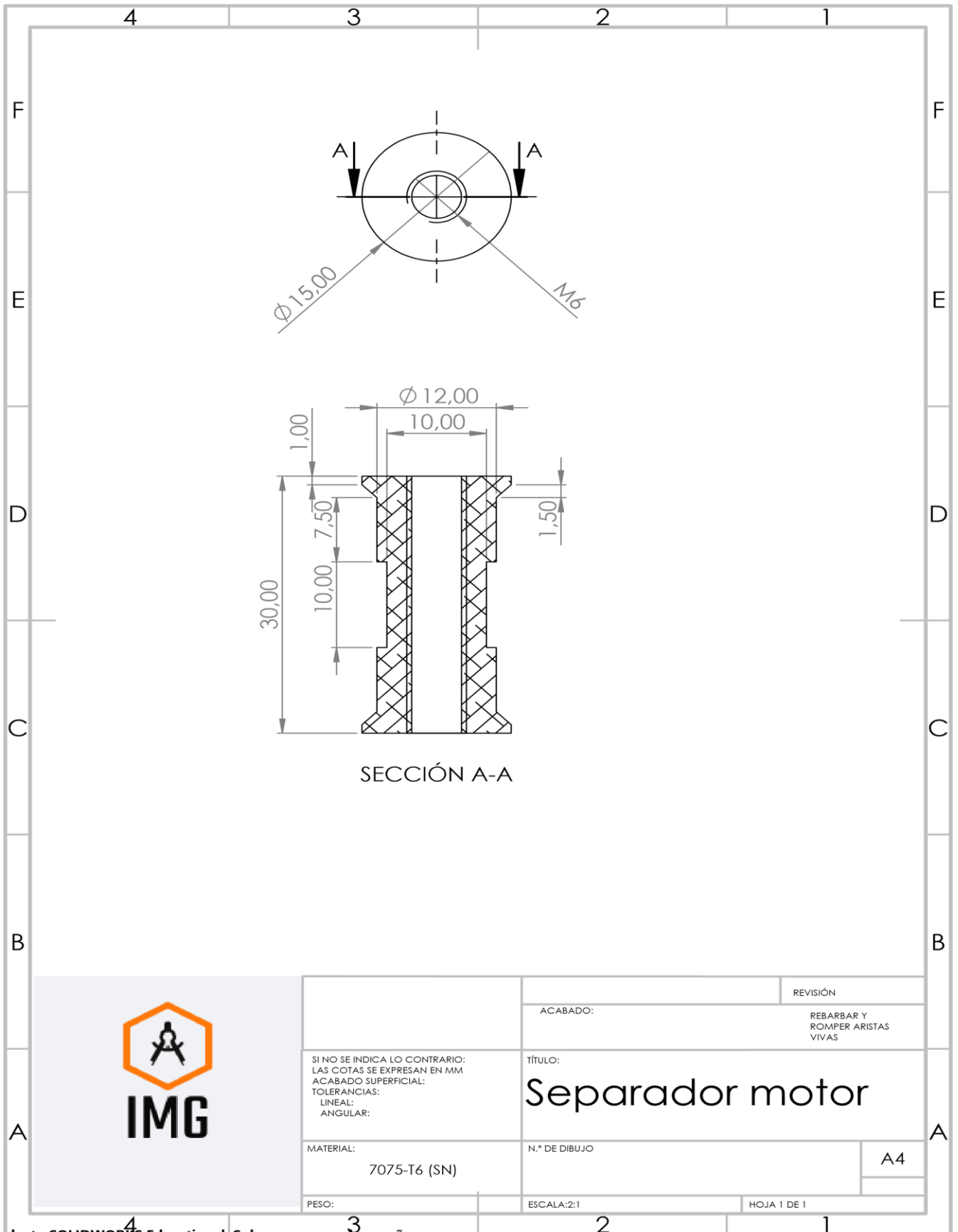
Eje de palomilla	CS-0007	1	DP	13,28
Palomilla rígida	CS-0008	1	DP	13,28
	TOTAL (€)			730,18

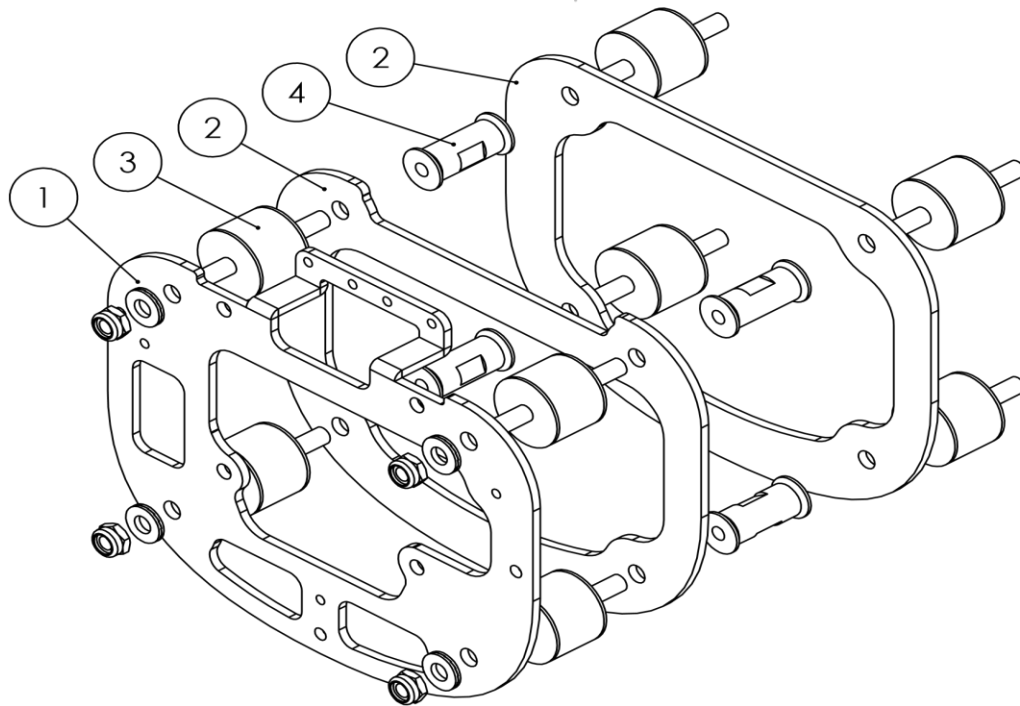
Anexo D: Planos






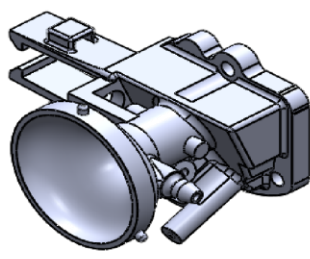
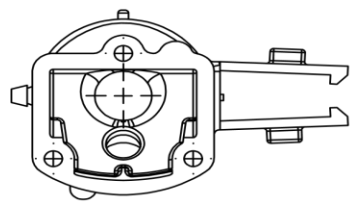
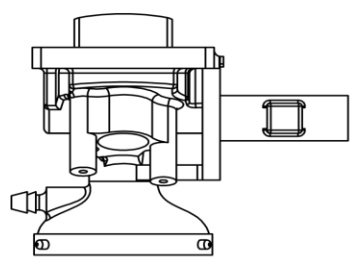



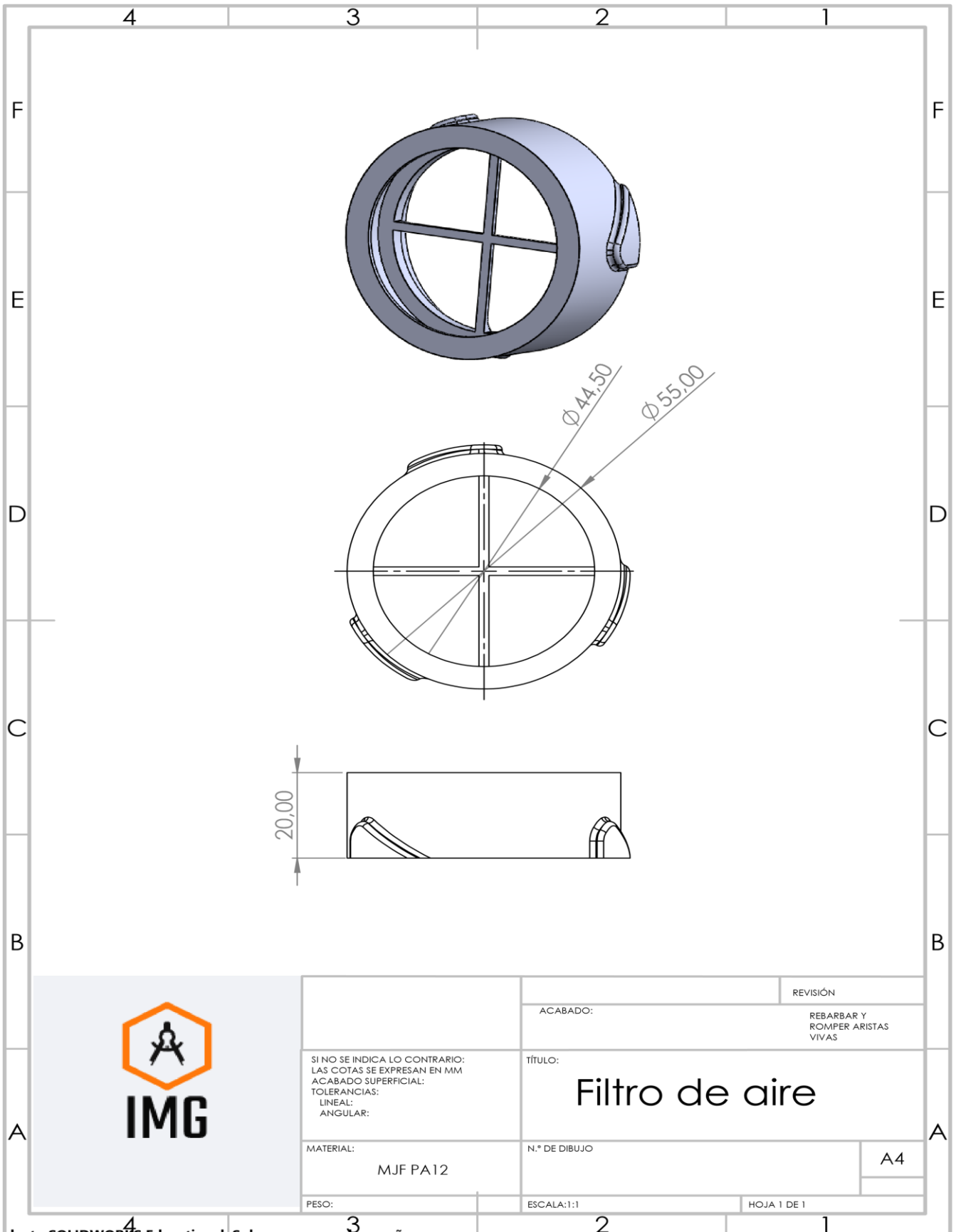


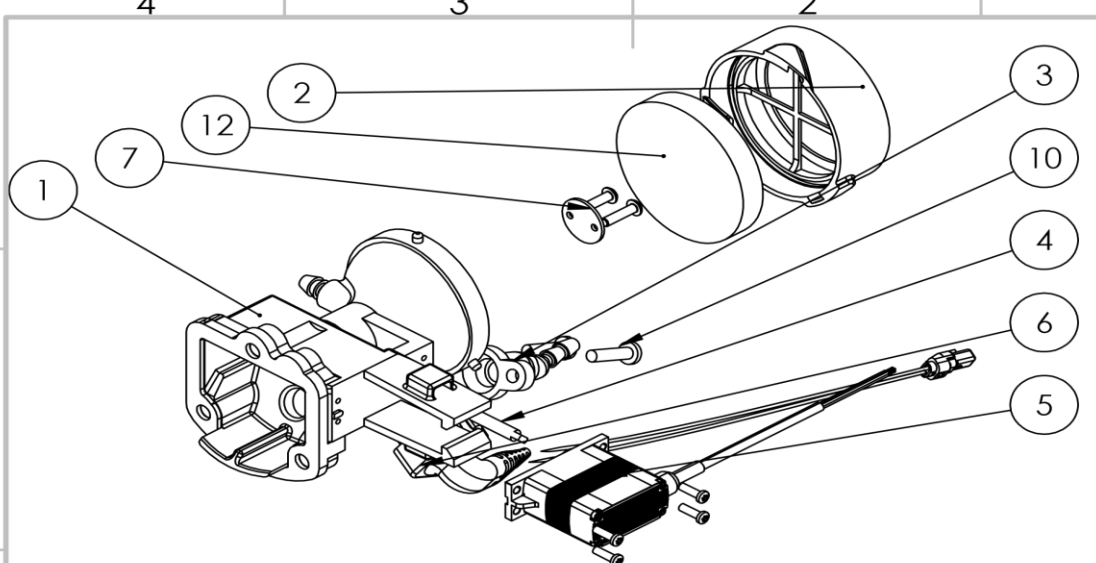


N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Cuaderna motor	2
2	Cuaderna final motor	1
3	Silentbloc macho-macho M6x18 Ø25.5x20mm	8
4	Separador motor	4
5	ISO 10511-M6-N	4


	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	REVISIÓN ACABADO: REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
	MATERIAL: Varios	TÍTULO: <h2>Cuadernas motor</h2>
	PESO:	N.º DE DIBUJO A4
	ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 1

	4	3	2	1
F				F
E				E
D				D
C				C
B				B
A				A
	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		REVISIÓN ACABADO: REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	
	MATERIAL: MJF PA12		TÍTULO: Cuerpo de admisión	
	PESO:		N.º DE DIBUJO A4	
	ESCALA: 1:2		HOJA 1 DE 1	
	4	3	2	1

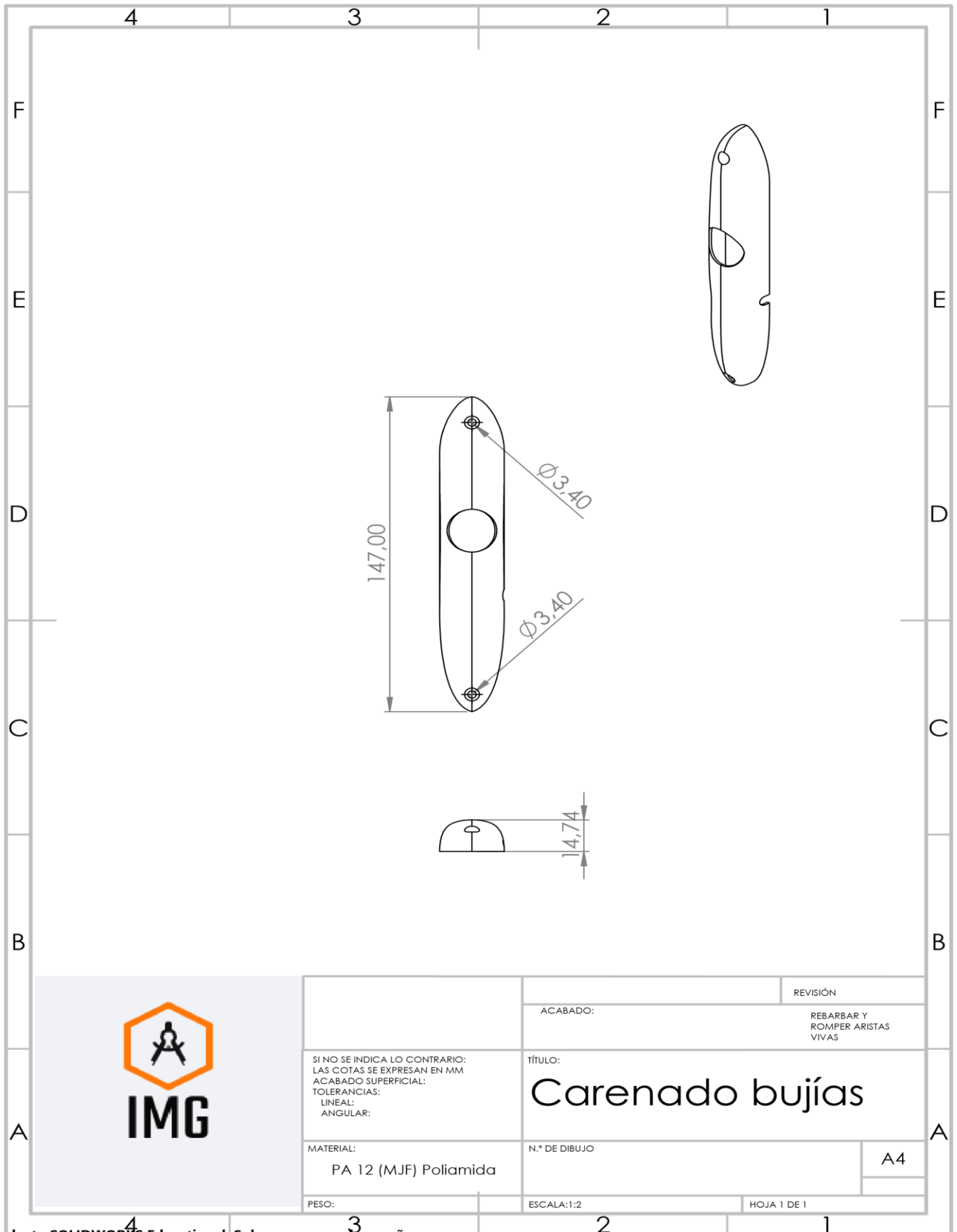


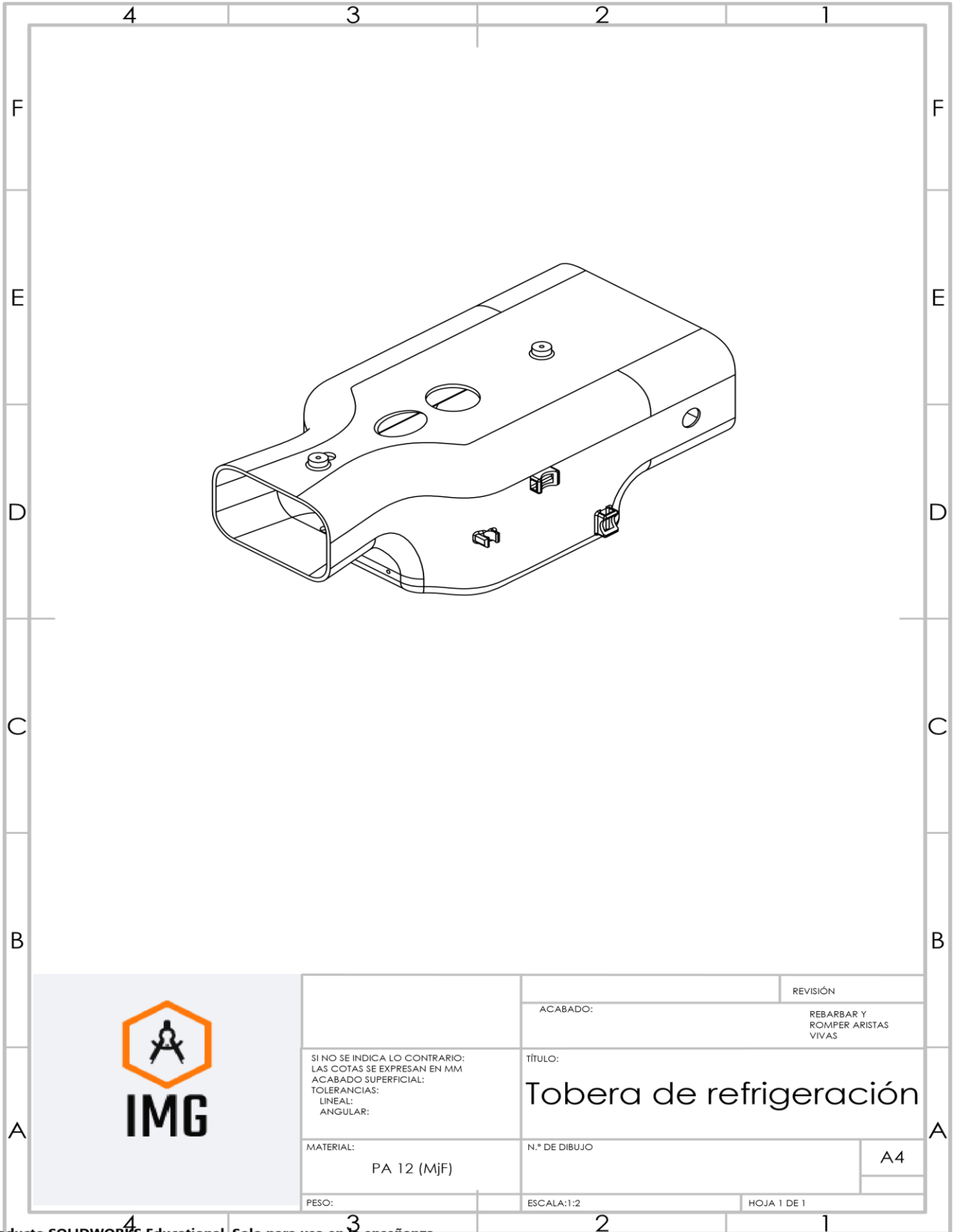


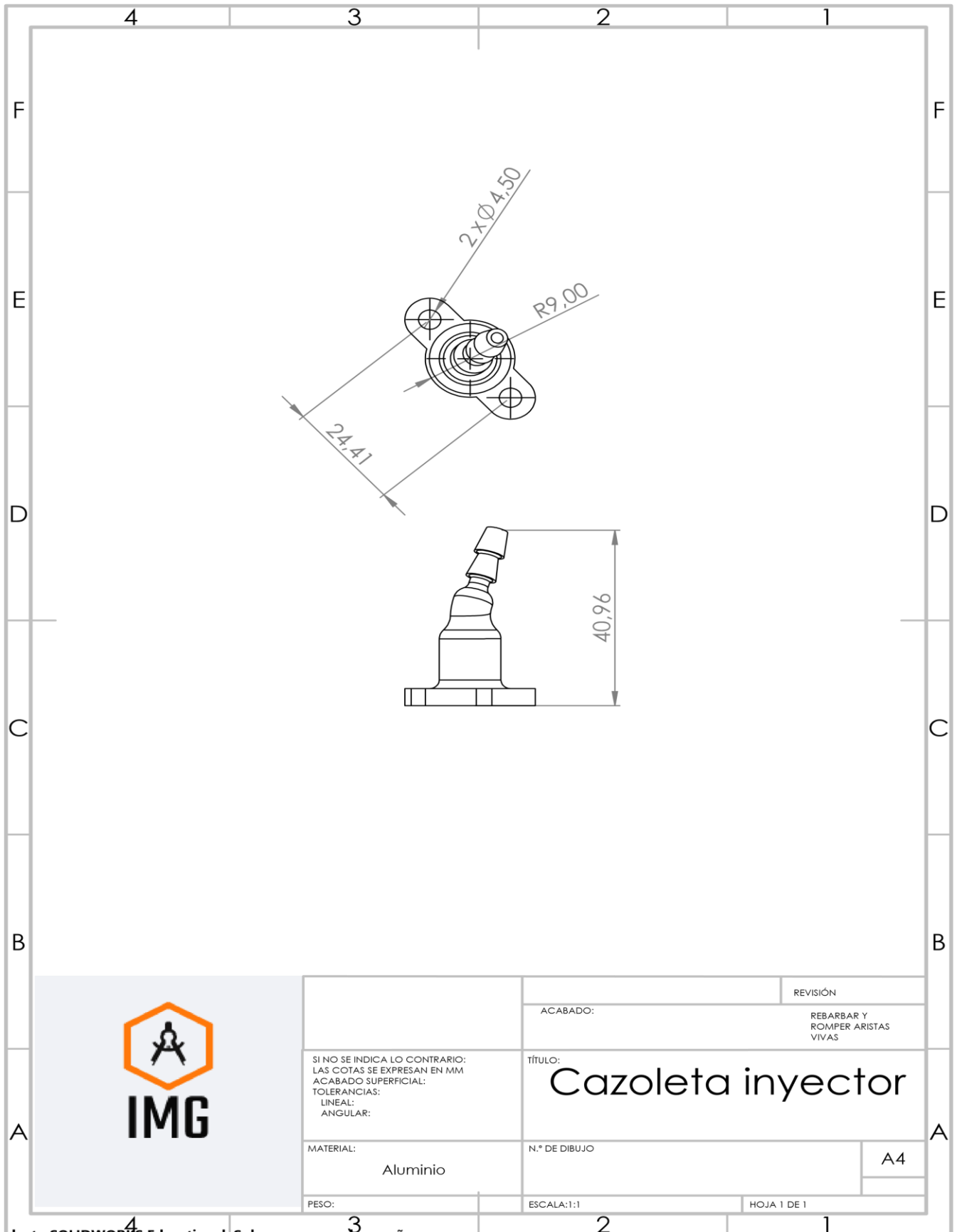
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Cuerpo de admisión	1
2	Filtro de aire	1
3	Cazoleta inyeccion	1
4	Eje admision	1
5	Servo Volz DA 15-T	1
6	INYECTOR MEV1-038-A	1
6.1	Inyector MEV 38g	1
7	Palomilla admisión 15mm	1
8	ISO-7380 - Tornillo Allen alomado M3x12	2
9	2.5mm X 8mm Torx Pan Head Polyfix	4
10	4mm X 16mm Torx Pan Head Polyfix	2
12	Filtro de aire	1

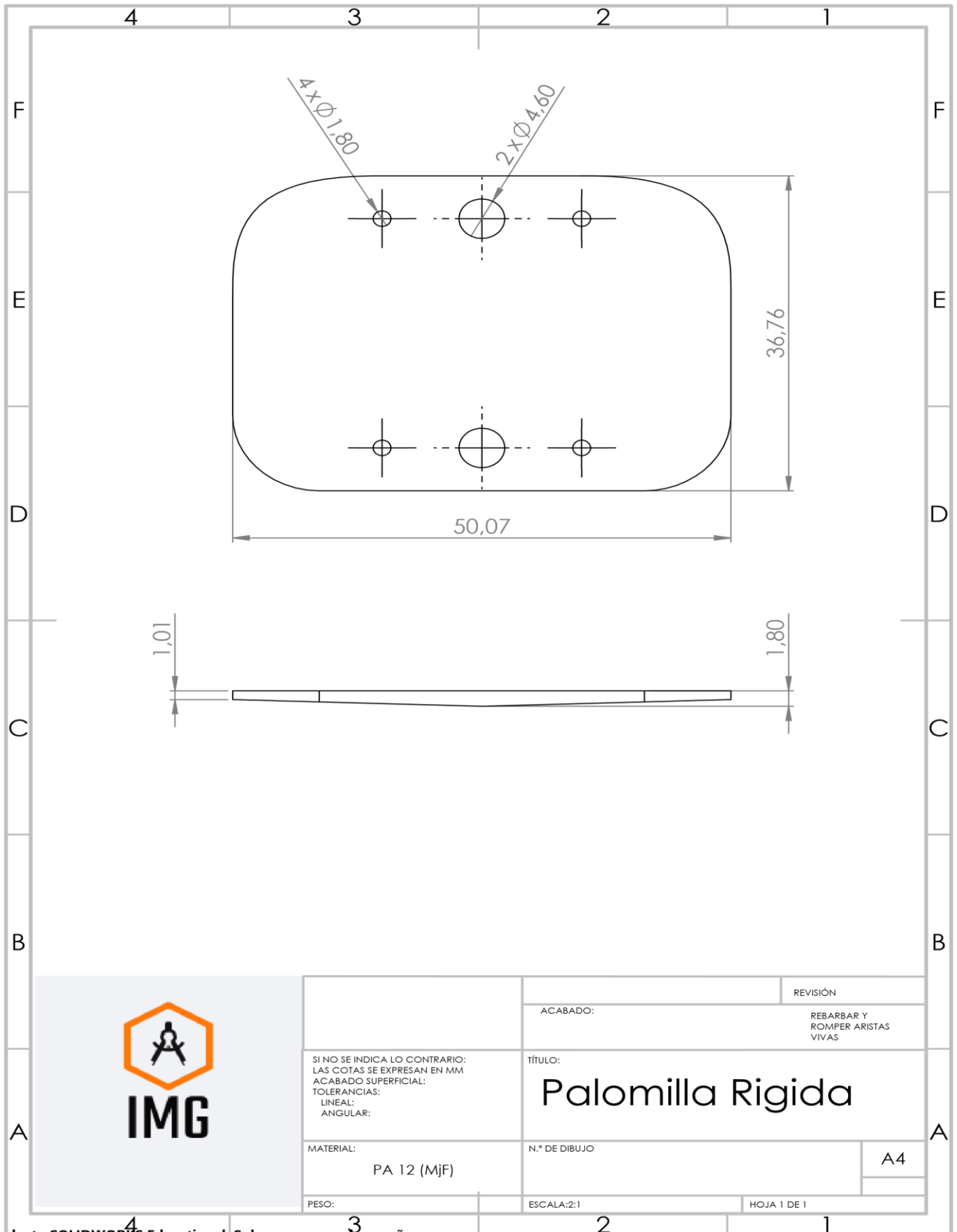


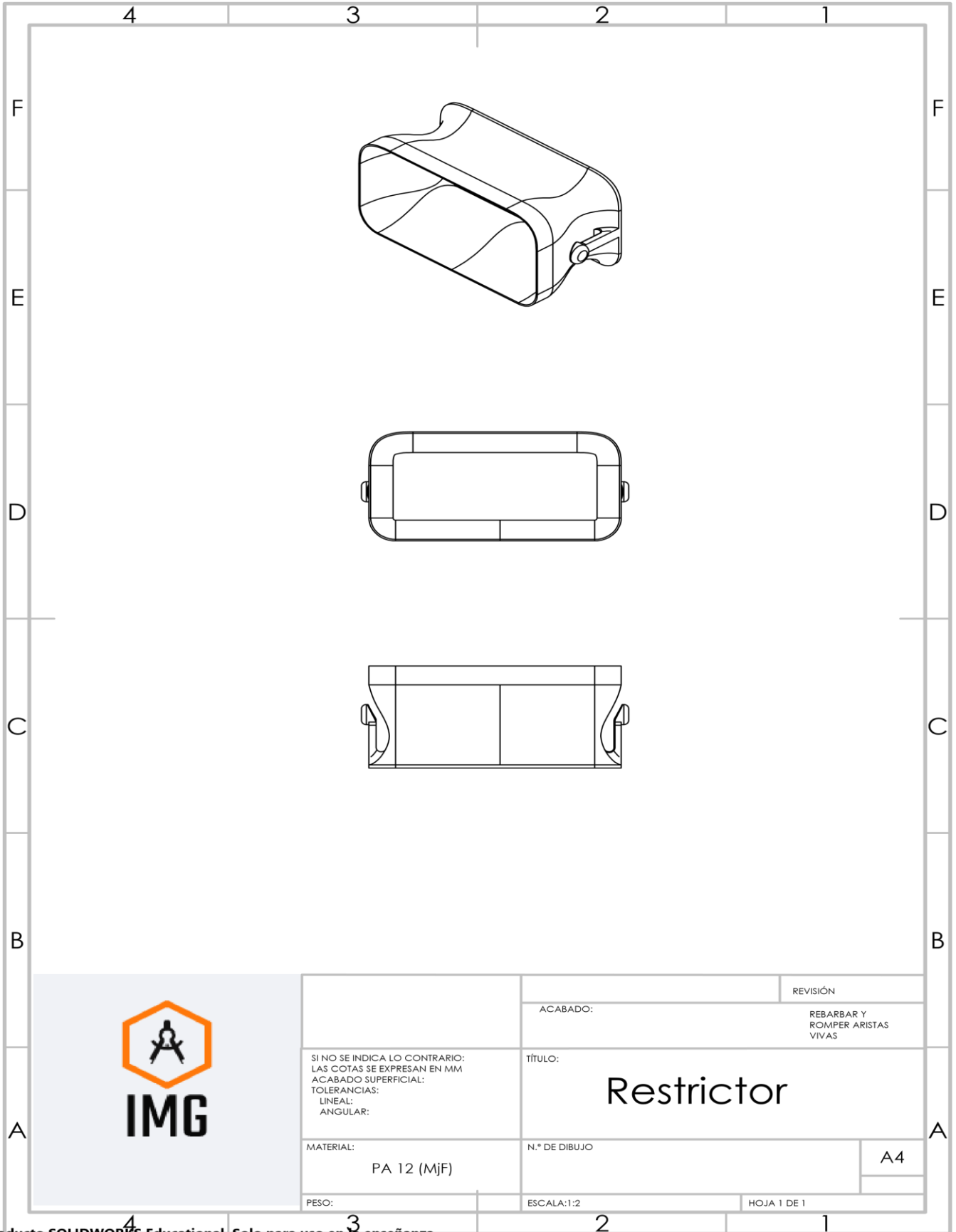
ACABADO:		REVISIÓN
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		TÍTULO: WK-1001-500-005725 - ADMISIÓN
MATERIAL: Varios	N.º DE DIBUJO	A4
PESO:	ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1

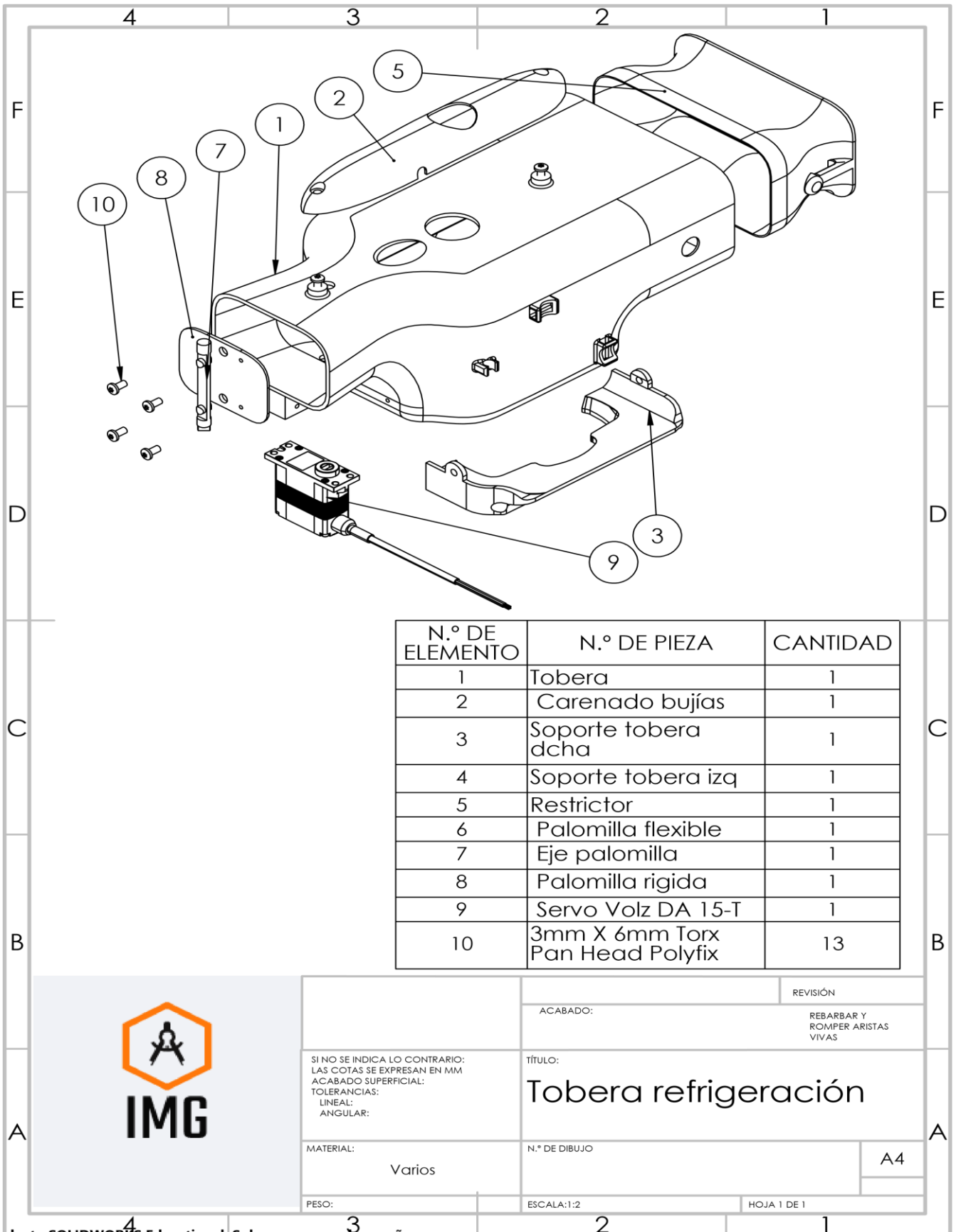












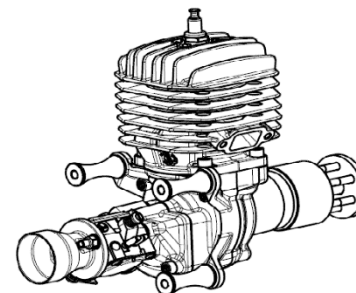
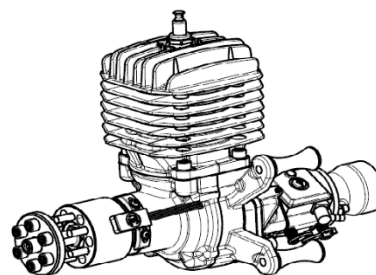
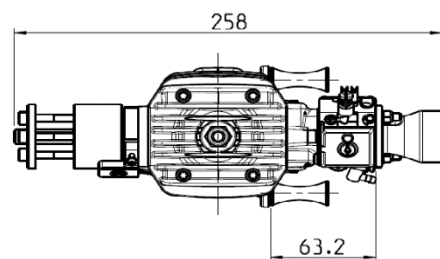
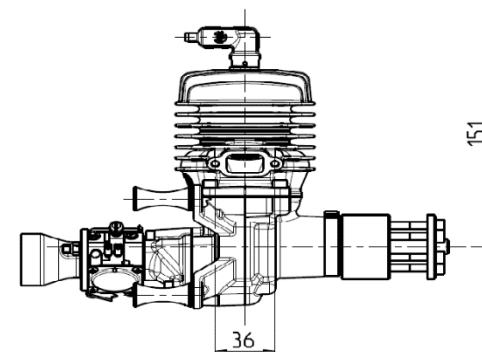
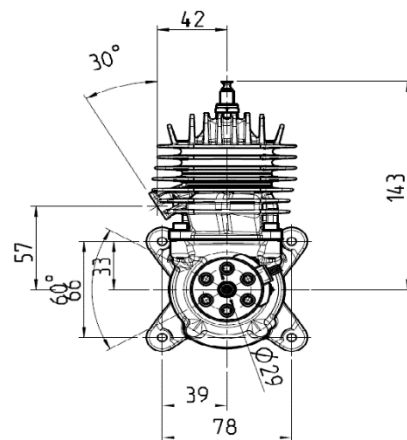
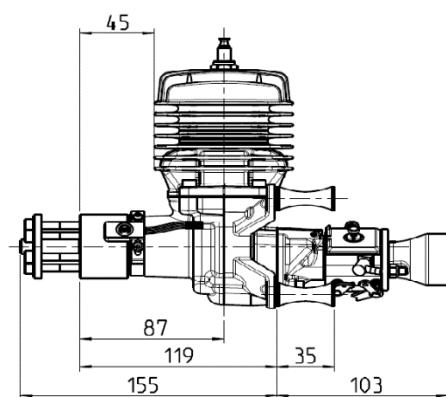
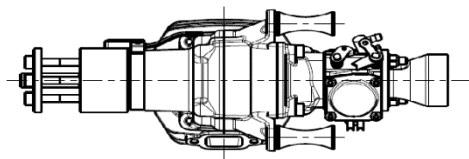
Capítulo 4. Anexo E: Fichas técnicas



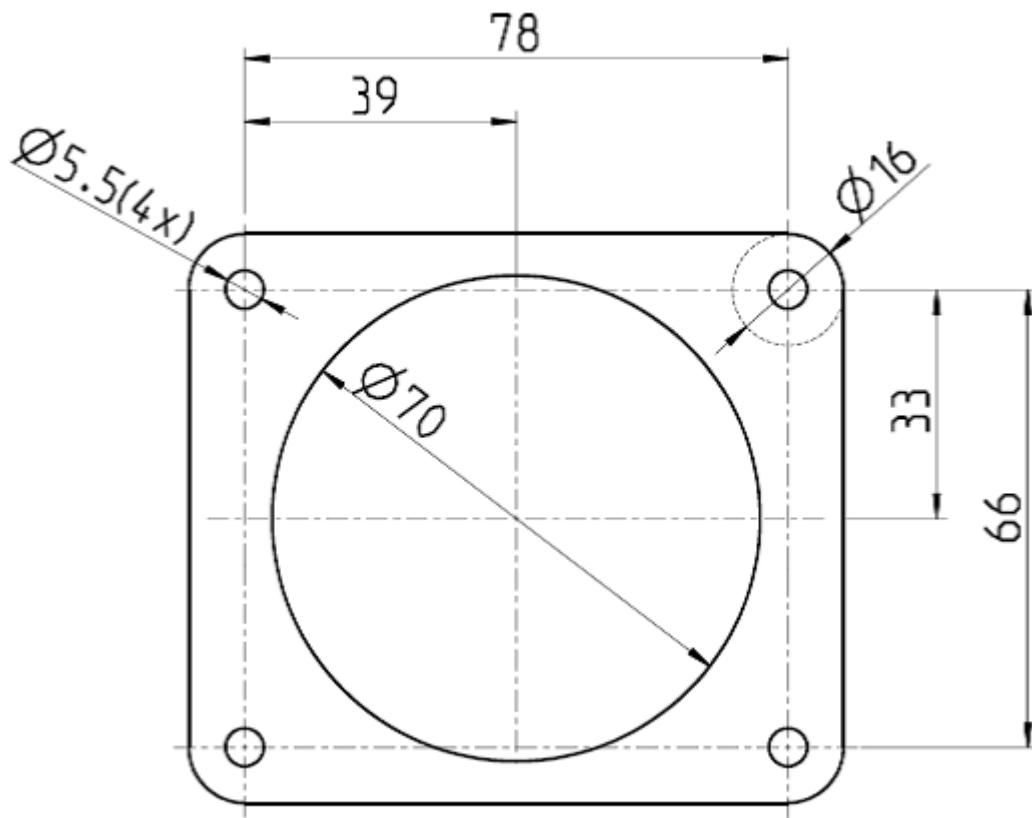
Annex A
3W-55Xi CS



1. 3-view drawing



2. Drilling template





3. Specifications

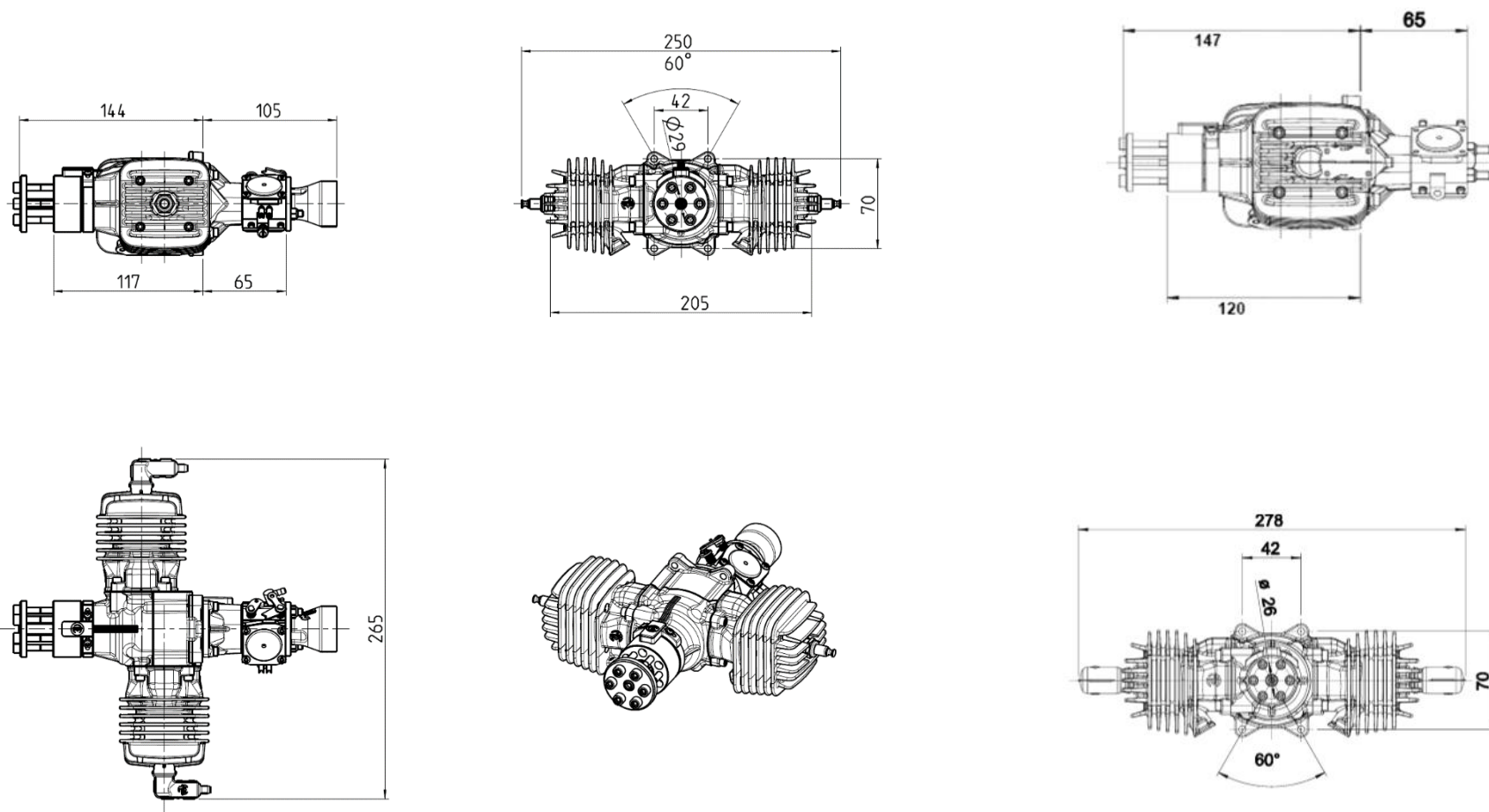
	3W-55Xi CS
Cylinder capacity	55.00 ccm
Power	5.4 HP (4.0 KW)
Bore diameter	45.00 mm
Stroke	35.00 mm
Speed range	1,300 – 8,500 rpm
Weight, incl. ignition	1,790 g
Crankshaft	3 ball bearing
Rods	Needle bearings at both ends
Oil / gasoline ratio	1 : 50 – 1: 80 (min. 92 Octan)
IIS – ignition	6.0 – 8.4 V, 5 cells or 2 cells LiPo
2-blade propeller	20 x 11 wood part number 10.101.521 21 x 10 wood part number 10.101.525 21 x 11 wood part number 10.101.529 22 x 8 wood part number 10.101.531 22 x 10 wood part number 10.101.533 22 x 12 wood part number 10.101.541 23 x 8 wood part number 10.101.543 24 x 8 wood part number 10.101.545 22 x 10 L wood part number 10.101.537 (2 engines)
3-blade propeller	21 x 10 CFK part number 10.101.710 23 x 11 CFK part number 10.101.715
4-blade propeller	20 x 12 CFK part number 10.101.780



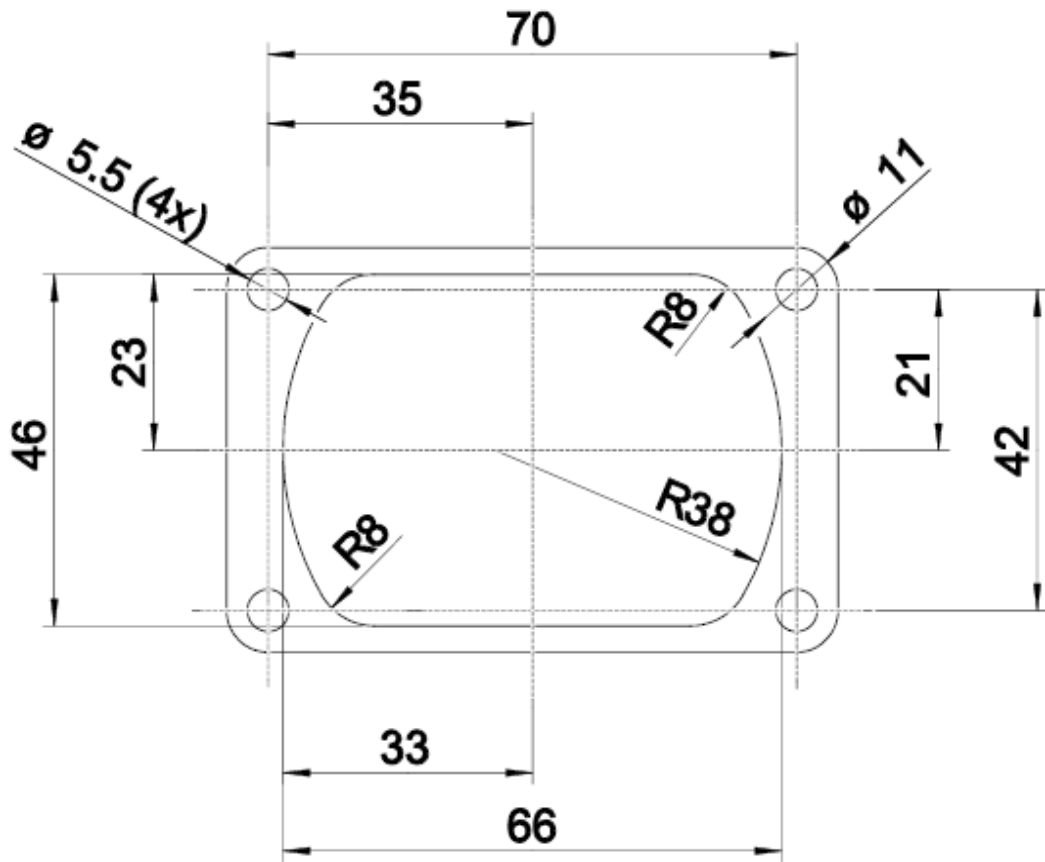
Annex A
3W-56iB2 CS



1. 3-view drawing



2. Drilling template



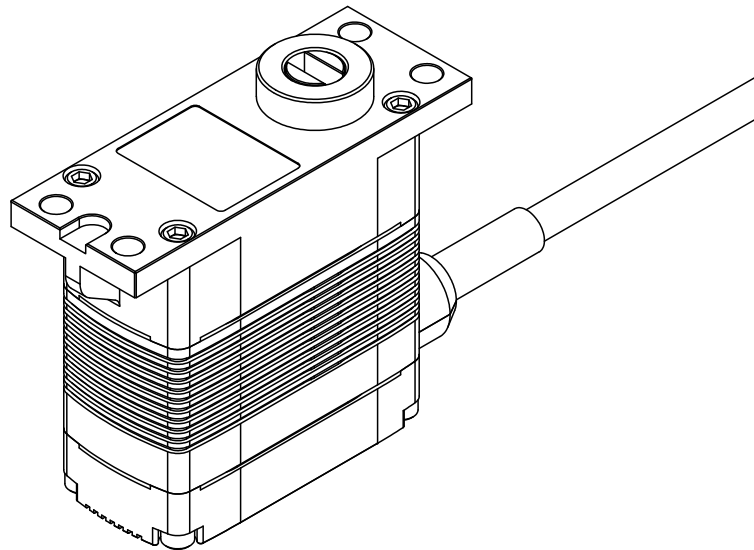


3. Specifications

	3W-56iB2 CS
Cylinder capacity	57.00 ccm
Power	6.0 HP (4.4 KW)
Bore diameter	36.00 mm
Stroke	28.00 mm
Speed range	1,400 – 8,500 rpm
Weight, incl. ignition	1,850 g
Crankshaft	3 ball bearing
Rods	Needle bearings at both ends
Oil / gasoline ratio	1 : 50 – 1: 80 (min. 92 Octan)
IIS – ignition	6.0 – 8.4 V, 5 cells or 2 cells LiPo
2-blade propeller	19 x 8 wood part number 10.101.509 20 x 10 wood part number 10.101.517 22 x 10 wood part number 10.101.533 23 x 8 wood part number 10.101.543 24 x 8 wood part number 10.101.545 22 x 10 L wood part number 10.101.537 (2 engines)
3-blade propeller	21 x 10 CFK part number 10.101.710 23 x 11 CFK part number 10.101.715
4-blade propeller	20 x 12 CFK part number 10.101.780

DA 15-T

Technical Specification



DA 15-T-06-BLDC-1000

DA 15-T-12-BLDC-1000



Content

1. General Description	3
2. Operating Data	4
3. Performance	5
4. Command Signal	6
4.1. Position Feedback Signal	6
4.2. Default Teach-In	7
5. Materials and Features.....	8
6. Dimensions	8
6.1. Installation Dimensions	9
7. Electrical Connection	10
8. Accessories	11
9. Item Number System.....	12

1. General Description

The DA 15-T is our smallest and lightest fly-by-wire actuator for direct installation onto the throttle valve shaft of a combustion engine. This eliminates the need for linkage rods or bowden cables, shortens the installation time and minimizes the installation space and overall weight!

Its brushless motor and contactless, wear free position detection make the DA 15-T immune to vibrations. Designed for use at high temperatures, only components with extended temperature range were put to use. The connection cable is shielded and aviation specified.

The servo is fully programmable. Our PC programming tool permits teaching of the idle and full throttle positions. These are assigned to configurable position feedback voltages. Teaching the idle and full throttle position makes it possible to replace a throttle valve servo or a throttle-servo unit without the need to reconfigure the engine control unit.

Advantages of the throttle valve actuator:

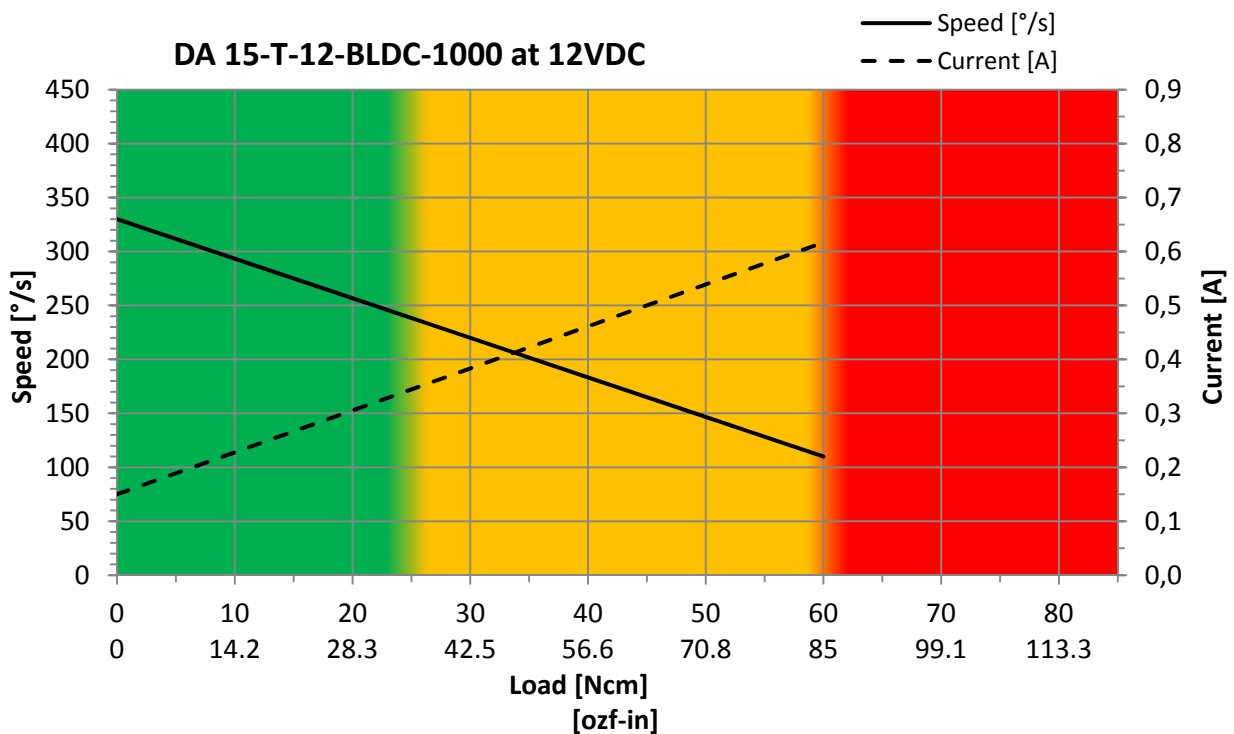
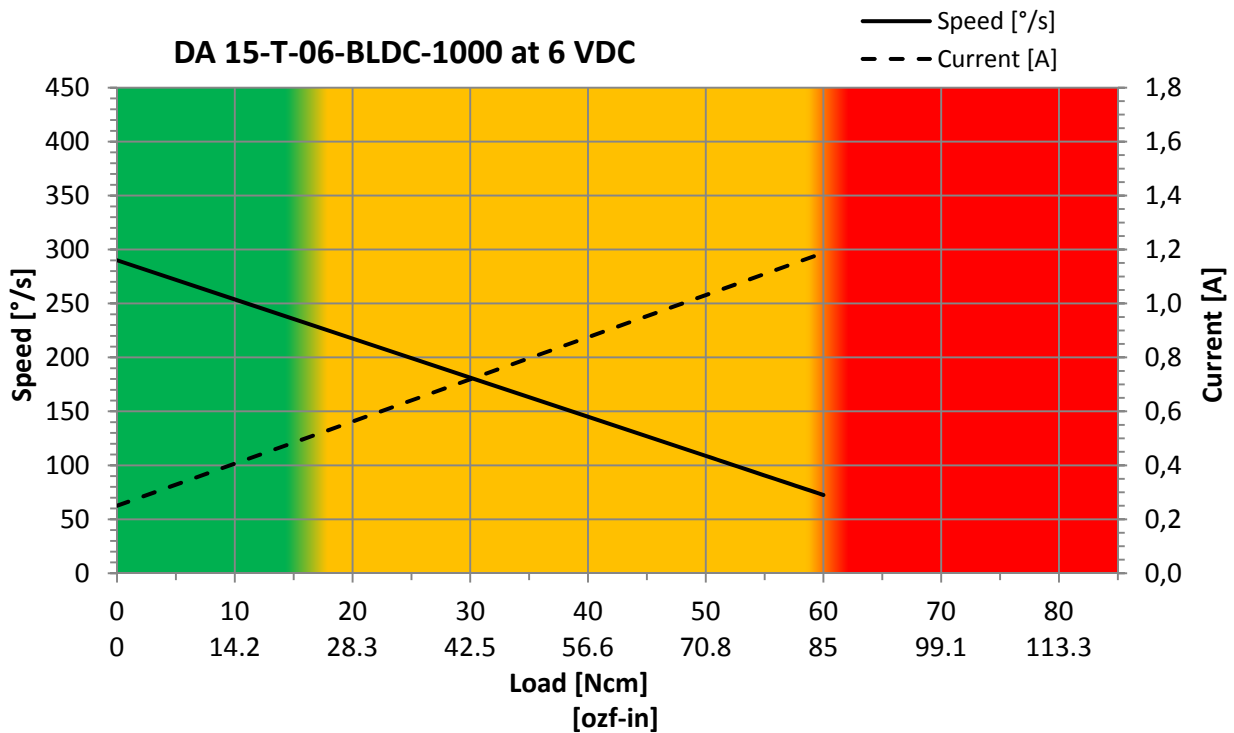
- Maximized service life through vibration-resistant, brushless DC motor
- Brushless technology eliminates the typical electromagnetic noise of brush-type motors
- Contactless, wear free position detection
- Aluminum housing with minimal weight and size in functional design with integrated adapter bracket for directly flanging to the throttle valve shaft
- The saltwater-resistant, HART-coat treated aluminum housing withstands at least 100 hours of saltwater spray without damage and meets the IP-67 standard for water and dust protection
- Good resistance to electromagnetic interference achieved with aluminum housing, low interference emission through brushless motor
- Several programming possibilities, e.g. overload protection for the internal electric motor, which enables powering down the current consumption in the blocked state.

2. Operating Data

	DA 15-T-06-...	DA 15-T-12-...
Supply Voltage (rated)	6 VDC	12 VDC
Supply Voltage Range	5 ... 9 VDC	10 ... 16 VDC
Standby Current ¹ at rated voltage	50 mA	50 mA
Rated Current ¹ at rated voltage	0.5 A	0.35 A
Peak Current ¹ at rated voltage	1.5 A	0.85 A
Rated Torque ¹ at rated speed	16 Ncm (22.7 ozf-in)	25 Ncm (35.4 ozf-in)
Peak Torque ¹ at rated voltage	60 Ncm (85 ozf-in)	60 Ncm (85 ozf-in)
No Load Speed ¹ at rated voltage	290 °/s	330 °/s
Rated Speed ¹ at rated torque	235 °/s	240 °/s
Default Travel Angle	±45° = 90° total travel	
Max. Travel Angle ²	±50° = 100° total travel	
Backlash (mechanical)	≤ 0.5°	
Position Error under Temperature ³	≤ ±1.0°	
Operating Temperature Range ⁴	-30°C ... +70°C (-22°F ... +158°F)	
Storage Temperature Range	-35°C ... +80°C (-31°F ... +176°F)	

- 1) Tolerance ±10%
- 2) Programming Tool # 985.7 required
- 3) -20°C ... +50°C , Δt = 70°C (-4°F ... +122°F , Δt = 126°F)
- 4) Low Temperature Modification on request

3. Performance



Operation Mode:

■ Continuous

■ Short Time
< 10s (+60s cool down)

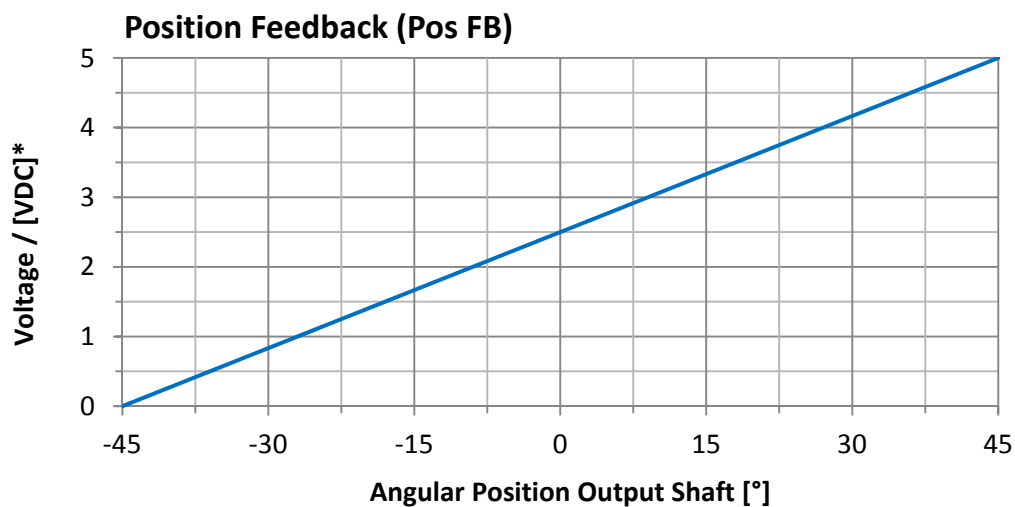
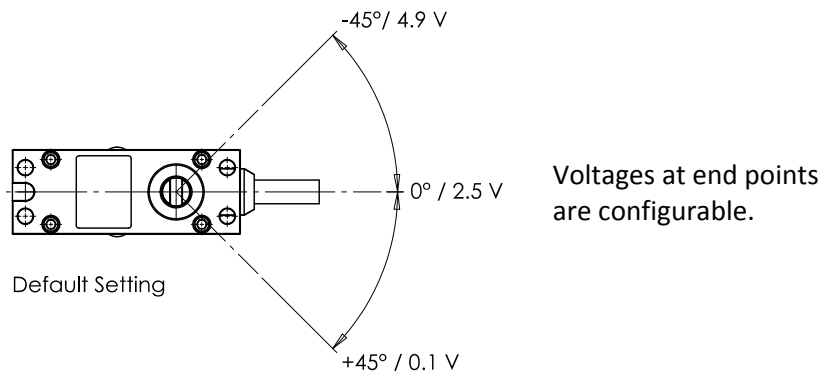
■ Overload
< 1s (+60s cool down)

4. Command Signal

PWM Signal Voltage	TTL-Level HIGH: min. 3.5 V, max. 5.5 V TTL-Level LOW: min. 0.0 V, max. 1.5 V
Frame Rate	2.6 ... 2000 ms
Valid Pulse Lengths	0.9 ... 2.1 ms
Pulse Length for Position Left / Center / Right	1.0 / 1.5 / 2.0 ms
Resolution	$\leq 1 \mu\text{s}$

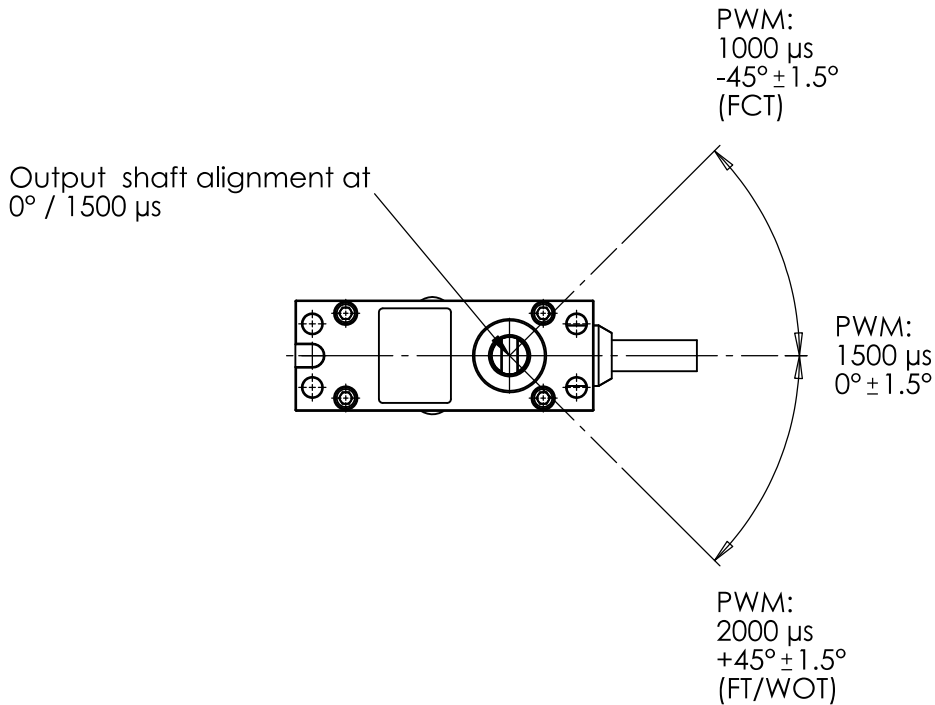
4.1. Position Feedback Signal

The Position Feedback signal (Pos FB) is an analog output signal providing a voltage value which is directly related to the output shaft's angular position. Reference is Supply Ground / Signal Ground (GND).



* Tolerance $\pm 5\%$

4.2. Default Teach-In



Throttle Parameters:

FT point: $2000 \mu\text{s}$

Idle point: $1000 \mu\text{s}$

Cut Off (FCT) point: $1000 \mu\text{s}$

FT: Full throttle

WOT: Wide open throttle

FCT: Fully closed throttle

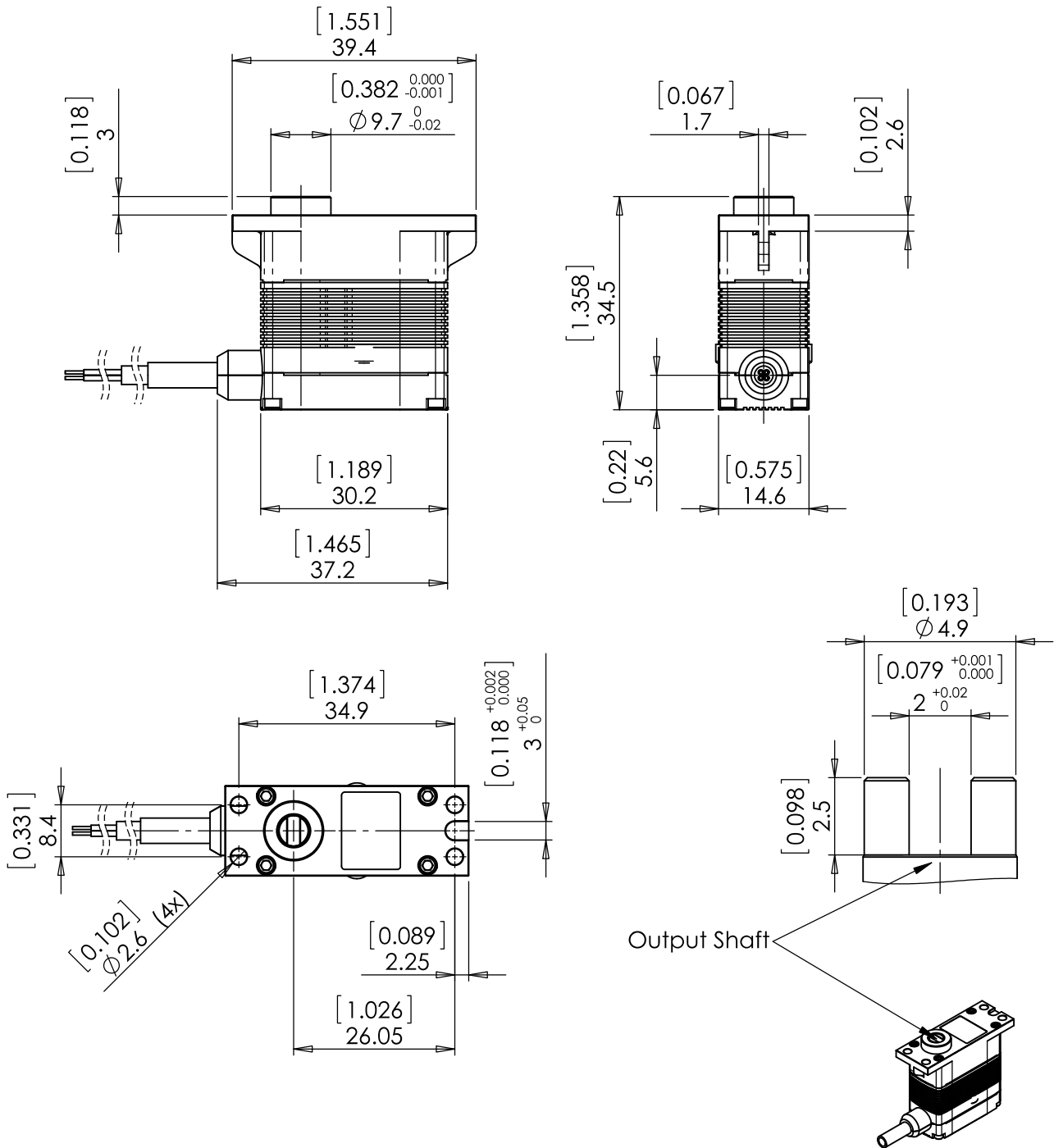
5. Materials and Features

Case Material	Saltwater Resistant Aluminum Alloy
Case Surface Treatment	HART® -Coat
Splash Water Resistance	IP 67, waterproof to 1m depth
Salt Water Resistance	> 100 hrs. Salt Water Spray
EMI / RFI Shielding	Case Shielding
Motor Type	Brushless DC Motor
Gear Set Material	Hardened Steel
Position Sensor	Contactless
Position Feedback	Standard
Shielded Connecting Cable	Standard

6. Dimensions

Case Dimensions	31.5 mm x 39.4 mm x 14.6 mm ±0.2 mm (1.240 in x 1.551 in x 0.575 in ±0.008 in)
Weight	30g (1.06oz) ±10%

6.1. Installation Dimensions

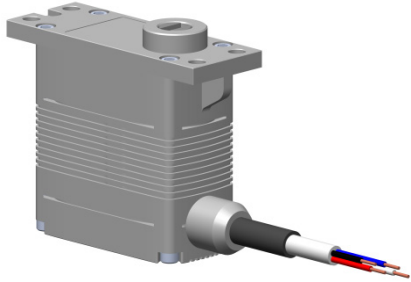
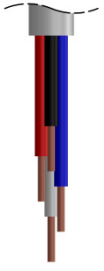


Not to scale

Dimensions [in] , mm

Content is subject to change without notice

7. Electrical Connection

			Shielded Cable		
			Manufacturer	TE Connectivity	
			Type	44A1141-26-0/2/6/9-9	
			Wire Gauge	4x AWG 26 (4x 0.14 mm ²)	
	Pin Assignment				
	1	Red	+VDC	Supply Voltage	
	2	Black	GND	Supply Ground, Signal Ground	
3	White	SIG	PWM Command Signal		
4	Blue	Pos FB	Position Feedback		

8. Accessories

Item	Item-No.
Programming Tool	985.7

All accessories to be purchased separately.

9. Item Number System

DA	15	.	T	.	12	.	BLDC	.	1000
Servo Class		Throttle		Supply Voltage		Electrical Connection			
15 mm Class		T		6 V DC 06 12 V DC 12		1000 shielded cable, open leads, length 1000mm (40in)			
						Motor Type			
						BLDC brushless			



Volz Servos GmbH & Co. KG

Kaiserstrasse 15
63065 Offenbach
Germany
Tel. +49-69-985580-0
Fax +49-69-985580-40

e-Mail mail@volz-servos.com
Website www.volz-servos.com

Datasheets
3D Printing Materials

Metal 3D printing



Aluminum (AlSi₁₀Mg)

The strength, thermal properties, low weight, and flexible post-processing of this aluminum alloy, AlSi₁₀Mg, make it ideal for prototyping and manufacturing in industries such as automotive and aerospace.



Parameter	AlSi10Mg Standard	AlSi10Mg Performance	Unit	Standard
Density	>2.59	>2.65	g/cm ³	WGE-Prod-067EN
Relative Density	>97.0	>99.0	%	WGE-Prod-067EN
Tensile Strength	>250	>300	Mpa	DIN EN ISO 6892-1:2009
Yield Strength	>180	>190	MPa	DIN EN ISO 6892-1:2009
E-Modulus	70	70	GPa	DIN EN ISO 6892-1:2009
Elongation at Break	>1.0	>2.0	%	DIN EN ISO 6892-1:2009
Roughness Ra	<20	<16	µm	ISO 4287 / AITM 1-00070
Roughness Rz	<80	<70	µm	ISO 4287 / AITM 1-00070
Hardness	>80	>100	HV	ISO 6597-1:03-2006

Actual values may vary with build conditions.

Strong tensions due to part geometry may distort parts, potentially leading to greater deviation in values. Values for surface roughness depend on the orientation of the surface; downward-facing surfaces and surfaces with support will be rougher. These values show the material characteristics without additional stress relief heat treatment. Extra heat treatment steps for even higher mechanical properties may be possible, e.g. for serial produced parts. Please [get in touch with our team](#) for more information.

For more information on this material, please visit mtls.am/aluminum.



Titanium (Ti6Al4V)

Ti6Al4V is a lightweight titanium alloy with excellent mechanical strength and superior corrosion resistance, making it ideal for functional prototypes and high-performance end-use parts.



Parameter	Ti6Al4V Standard	Ti6Al4V Performance	Unit	Standard
Density	>4.36	>4.39	g/cm ³	WGE-Prod-067EN
Relative Density	>99	>99.5	%	WGE-Prod-067EN
Tensile Strength	>900*	>980	Mpa	DIN EN2002-1
Yield Strength	>830*	>900	MPa	DIN EN2002-1
E-Modulus	110	110	GPa	DIN EN2002-1
Elongation at Break	>10*	>14	%	DIN EN2002-1
Roughness Ra	<20	<20	µm	ISO 4287 / AITM 1-00070
Roughness Rz	<80	<80	µm	ISO 4287 / AITM 1-00070
Hardness	>310	>340	HV	ISO 6597-1:03-2006

Actual values may vary with build conditions.

Strong tensions due to part geometry may distort parts, potentially leading to greater deviation in values. Values for surface roughness depend on the orientation of the surface; downward-facing surfaces and surfaces with support will be rougher. These values show the material characteristics with additional stress relief heat treatment. Extra heat treatment steps, hot isostatic pressing (HIP), or aging for even higher mechanical properties may be possible, e.g. for serial-produced parts. Please [get in touch with our team](#) for more information.

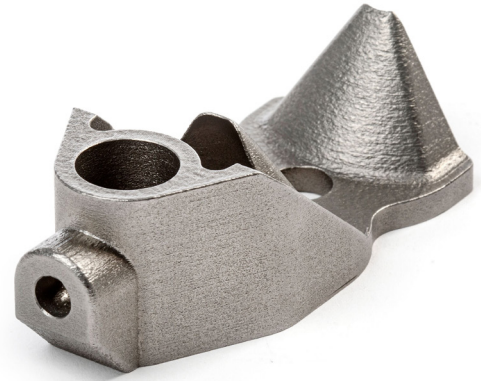
*Values for tensile specimens according to DIN EN ISO 6892 status as built

For more information on this material, please visit mtls.am/titanium.



Stainless Steel (SS316L)

Stainless Steel (SS316L) is a low-carbon stainless steel alloy that offers excellent strength, high corrosion resistance and ductility, and good thermal properties, making it suitable for general prototyping.



Parameter	SS 316L Standard	SS 316L Performance	Unit	Standard
Density	>7.91	>7.95	g/cm ³	WGE-Prod-067EN
Relative Density	>99.0	>99.5	%	WGE-Prod-067EN
Tensile Strength	>510	>530	Mpa	DIN EN ISO 6892-1:2009
Yield Strength	>300	>340	MPa	DIN EN ISO 6892-1:2009
E-Modulus	180	180	GPa	DIN EN ISO 6892-1:2009
Elongation at Break	>45	>50	%	DIN EN ISO 6892-1:2009
Roughness Ra	<20	<15	µm	ISO 4287 / AITM 1-00070
Roughness Rz	<90	<70	µm	ISO 4287 / AITM 1-00070
Hardness	>170	>200	HV	ISO 6597-1:03-2006

Actual values may vary with build conditions.

Strong tensions due to part geometry may distort parts, potentially leading to greater deviation in values. Values for surface roughness depend on the orientation of the surface; downward-facing surfaces and surfaces with support will be rougher. These values show the material characteristics with additional stress relief heat treatment. Extra heat treatment steps or aging for even higher mechanical properties may be possible, e.g. for serial-produced parts. Please [get in touch with our team](#) for more information.

For more information on this material, please visit mtls.am/stainless-steel-316l.



Inconel (IN718)

Inconel (IN718) is a high-strength, corrosion-resistant alloy with exceptional thermal resistance. Ideal for functional prototypes and high-performance parts that need to withstand extreme conditions.



Parameter	IN718	Unit	Standard
Density	>8.07	g/cm ³	WGE-Prod-067EN
Relative Density	>99	%	WGE-Prod-067EN
Tensile Strength	>940	Mpa	DIN EN2002-1
Yield Strength	>750	MPa	DIN EN2002-1
E-Modulus	220	GPa	DIN EN2002-1
Elongation at Break	>8	%	DIN EN2002-1
Roughness Ra	<15	µm	ISO 4287 / AITM 1-00070
Roughness Rz	<60	µm	ISO 4287 / AITM 1-00070
Hardness	>300	HV	ISO 6597-1:03-2006

Actual values may vary with build conditions.

Strong tensions due to part geometry may distort parts, potentially leading to greater deviation in values. Values for surface roughness depend on the orientation of the surface; downward-facing surfaces and surfaces with support will be rougher. These measurement values show the material characteristics with additional stress relief heat treatment. Extra heat treatment steps or aging for even higher mechanical properties may be possible, e.g. for serial-produced parts. Please [get in touch with our team](#) for more information.

For more information on this material, please visit mtls.am/inconel-718.



Stainless Steel (C465)

Stainless Steel (C465) is an age-hardenable stainless steel alloy that offers excellent strength and fracture toughness, and high corrosion resistance, making it ideal for high-performance end-use parts.



Parameter	SS C465 Standard	SS C465 Performance	Unit	Standard
Density	>7.8	>7.84	g/cm ³	
Relative Density	>99.0	>99.5	%	
Tensile Strength	>1330	>1600	Mpa	DIN EN2002-1
Yield Strength	>1175	>1500	MPa	DIN EN2002-1
Elastic modulus	~160	~195	GPa	DIN EN2002-1
Elongation at Break	>9	>2	%	DIN EN2002-1
Roughness Ra	<12	<12	µm	ISO 4287:2010-07
Roughness Rz	<70	<70	µm	ISO 4287:2010-07
Hardness	>450	>550	HV	DIN EN ISO 6507-1:2018-07 HV10

Actual values may vary with build conditions.

Strong tensions due to part geometry may distort parts, potentially leading to greater deviation in values. Values for surface roughness depend on the orientation of the surface; downward-facing surfaces and surfaces with support will be rougher. These values show the material characteristics with additional stress relief heat treatment. Extra heat treatment steps, cryogenic treatment, or aging for even higher mechanical properties may be possible, e.g. for serial-produced parts. Please [get in touch with our team](#) for more information.

For more information on this material, please visit mtls.am/stainless-steel-c465.



General Operating Manual for 3W Engines



General Operating Manual for 3W Engines

Content

1. PREFACE AND WARRANTY	3
Introduction.....	3
Warranty notice.....	3
Exclusion of liability.....	3
Service contract.....	4
2. SAFETY NOTICE	4
Personal safety.....	4
Engine safety.....	5
3. OPERATION (ENGINE USE)	7
3.1 Important notes before start-up.....	7
The engine's technical condition.....	7
3.2 Installation.....	7
Engine.....	7
Air guide.....	8
Operating temperature.....	9
Carburettor.....	9
Carburettor linkage.....	9
Ignition.....	10
Tank.....	10
Mufflers.....	11
3.3 Operation.....	12
Starting the engine.....	12
Breaking in the engine.....	12
Carburettor setting.....	13
4. MAINTENANCE	14
5. RECOMMENDED CONSUMABLES	14
6. ANNEXES	14
Annexe A: Technical data sheets.....	14
Annexe B: Replacement parts list.....	14

1. PREFACE AND WARRANTY

Introduction

Dear customer,

For more than 35 years we've been building and delivering 2-stroke engines ,made in Germany' for unmanned aircraft. Our employees develop, construct, manufacture, and distribute a broad variety of one- to four-cylinder engines.

We're glad that you've decided in favour of a product from our house and we wish you much fun and success.

Your 3W Team

Warranty notice

The warranty period for our engines is 36 months or 1200 hours of operation beginning with the date of purchase. This warranty is restricted to the replacement of defective parts if they were damaged due to faulty materials or faulty installation during production. This warranty claim lapses if the defect was caused by improper handling or repair, or through the use of unapproved components and consumables.

Thus only 3W mufflers or third-party products approved by us may be used. Only original 3W ignitions may be used to operate 3W engines. Otherwise the warranty lapses.

Unauthorized changes, modifications, or additions cause the warranty to lapse automatically.

Exclusion of liability

Since we cannot control the proper application of our products, we assume no liability for any type of damage or injury resulting from their use.

Service contract

You're welcome to personally deliver your engines for maintenance or repair to our service team. Please note our workshop's business hours:

Monday to Thursday from 8:00 a.m. to 4:00 p.m.

Friday 8:00 a.m. to 1:00 p.m.

Please note that repairs can only be conducted in our workshop with prior appointment arrangement. So contact us in advance to arrange an appointment:

Hotline or email:

+49 (0)6181 56868 or support@3w-modellmotoren.com

Mailing address:

3W Service

Lise-Meitner-Straße 33

D-63457 Hanau

Please indicate the item number when you contact us if you'd like to order spare parts:

- Phone Order hotline: +49 (0)6181/956679 (Mon.-Thu. 8:00 a.m.-4:00 p.m., Fri. 8:00 a.m.-1:00 p.m.)
- Fax order hotline: +49 (0)6181/956689
- Email: sales@3w-modellmotoren.com

Please note that there is a €20.00 minimum order.

2. SAFETY NOTICE

Personal safety

The items below must be strictly observed for your safety and the safety of persons in your vicinity. We urgently recommend that you read these items thoroughly before you start the engine.

Please observe the following items in order to avert personal injuries:

- All persons and animals must be located behind the running propeller while the engine is running.
- Loose objects that the propeller could attract must not be lying around.
- No objects may be thrown into or held in the running propeller.
- Body parts must be kept away from the propeller.
- Do not wear any loose clothing such as gloves, ties, jewellery, scarves, key rings, or the like that could be caught in the running propeller.
- Use eye protection when the engine is started.

- The engine must not be brought into operation if you are under the influence of drugs, alcohol, or medications because these impair your ability to react.
- Do not operate the engine in the vicinity of loose objects such as sand, gravel, powder, cords, ropes, and the like. Any loose material can be sucked in resulting in injuries and damage.

The engines are not toys! Faulty usage or improper handling can lead to serious or fatal injuries. Read through this operating manual carefully before start-up and familiarize yourself with possible sources of error.

Engine safety

The aspects of engine safety must be strictly observed!

Observe the following items in particular:

- Only balanced, precisely bored propellers may be used for operation. The propellers must basically be bored from behind (use a standard boring machine). If you don't possess the experience or the necessary tool, then have an expert support you or take advantage of our service.
- Pay strict attention to firm seating and evenly tightened screws.
- The propeller blades must be absolutely identical in length and thickness.
- Test the propeller's flatness. Only 100% even flatness is permissible for operation.
- The blade tips' heights must be checked on a level surface. Heights may differ by at most 0.5 mm.
- The propeller-blade tips must be tested during flight. This is particularly important with 3- and 4-blade propellers. The geometries must correct.
- Use only 100% balanced propellers.

Non-observance of the above-listed instructions can cause disturbances to arise that can lead to anything from bearing damage to crankshaft breakage caused by vibration of the unbalanced propeller. The propeller can also be destroyed through inexact retaining bores.

Please call our service if you still have questions.

Moreover the following items must be strictly observed:

- Read the operating manual carefully before you bring the engine into operation.
- Consider that you alone are responsible for the engine's safe operation and handling.
- The engine must be safely fixed and secured.
- Ensure that the engine is adequately cooled.
- Ensure that the muffler and exhaust manifold are well cooled.
- Only use approved propellers and spinners. Spinners must always be balanced with the propeller.

- Never use damaged or repaired propellers.
- The propeller must be correctly balanced without exception in order to attenuate vibrations that can cause bearing damage.
- Ensure that the propeller is safely fixed. Test the propeller's screws for firm seating and inspect them regularly.
- Install the ignition(s) so that no overheating can occur. Ensure that there is sufficient cooling air.
- Use the right battery for the ignition.
- Use only quality switches for the ignition.
- Use only suitable, fuel-resistant tanks and hoses. Ensure correct installation. Hoses must not be kinked because otherwise the fuel supply could be interrupted.
- Use only specified oil for and after breaking in. Observe the correct mixing ratio.
- Use only filtered fuel. The tank must be provided with a filter that is installed without kinks.
- Start the engine with the starter¹ instead of fingers or hands.
- Adjust the carburettor correctly.
- The carburettor must not be adjusted while the engine is running since doing so leads to a very great danger of injury.
- Observe that the spark plug is in proper condition and securely screwed in.
- The ignition cable's shield must be undamaged, as interference may occur. Adequate protection must be ensured.
- The spark plug connector must be seated securely in contact with the spark plug.
- The engine must not be operated in closed spaces without vacuum extraction.
- Use an ignition-off switch in order to stop the engine.
- Use our starter (see recommended accessories) or an electrical starter to start the engine.
- Maintain the engine carefully and regularly.
- Use a check-list for the engine and aircraft before you fly.
- Secure the aircraft from rolling away before starting the engine.

¹5. Recommended consumables

3. OPERATION (ENGINE USE)

3.1 Important notes before start-up

The engine's technical condition

The engine should be thoroughly tested for use. The following items must be strictly observed for the engine's safe operation:

- Don't hold your fingers or any other parts of your body or objects in the rotating propeller.
- Secure your aircraft before starting. Ask one, two, or several assistants to secure your aircraft regardless of its size. Emphasize to your assistants that the engine is started at full throttle.
- Never change the carburettor's settings while the engine is running. Shut the engine off and then undertake the changes. Repeat the procedure until you are satisfied with the running behaviour.
- Ensure that no fuel gets onto the hot muffler.
- Use only ignitions recommended by us.

3.2 Installation

Engine

The engine can be screwed on directly or be fixed to the engine frame on spacers. A tension-free mounting is necessary because the crankcase is made of aluminium. Screw the engine onto a plate (plywood or composite) and undercut it in order to produce the necessary down and side thrust or use a suitable engine mount (see image).

A functioning cooling system is important for your air-cooled engine's function. In order to guarantee this you must ensure that incoming air is also discharged again from the engine's bonnet. Air backed up behind the cylinder can cause turbulences. This is to be strictly avoided. Observe that the orifice for exiting air should be four times the size of that for incoming air.

Example:

- 20 square centimetre intake orifice
- 80 square centimetre exit orifice

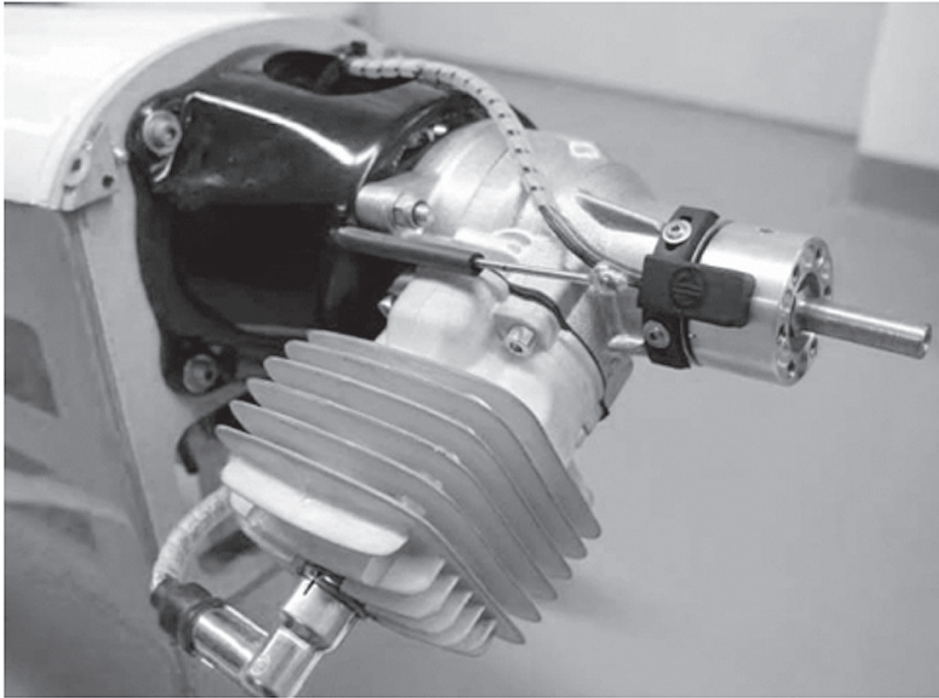


Figure 1: Installed engine on engine mount (Example)

Observe the notes for the air guide if problems arise with the cooling system.

Air guide

Incoming air must be directed straight onto the cylinder with the air guide. A continuous air stream over the cylinder's cooling fins is hereby guaranteed. Such an air guide offers the greatest possible cooling for your engine. Without an air guide, the air takes the path of least resistance and only part of the incoming air flows over the cylinder.

The air guide must lie close to the engine so that the cool air can flow only over the cylinder down-wards in the direction of the exhaust-air orifice. That the head fins and the spark plug as well as the spark plug's connector are cooled is also important here. It is furthermore important to ensure that the crankcase is also cooled. The greatest permissible temperature is 55 °C.

It must be noted that the engine can be damaged even with forced cooling. This can be induced for instance by allowing the engine to run too long while on the ground, an incorrect carburettor setting, too little air exhaust, or incorrect or too small exhaust manifold.

Operating temperature

You'll need a thermocouple that fits under the spark plug (M10 thread) in order to correctly measure the cylinder head's temperature. The optimal operating temperature depends on the engine. Piston, spark plug, and combustion chamber remain free of combustion deposits in this temperature range. The temperature can be 250 °C for a certain time during full throttle.

The spark plug's colour should lie between light and medium brown. Grey colouration is a typical sign of overheating or too lean a carburettor setting. Temperatures greater than 270 °C are critical - the piston may seize thereby destroying the engine.

Carbon deposits on the piston at temperatures below 180 °C. Increasing deposition on the cylinder causes abnormal running noises. The hammering stresses the needle bearings and can destroy them. This can cause engine failure.

Carburettor

Front and tail carburettors require constant fresh air.

Orifices bored into the fuselage in the vicinity of the carburettor have the opposite effect: the creation of under pressure on the outside of the fuselage draws the air out of the fuselage away from the carburettor. So direct fresh air into the fuselage with an air scoop. To avoid over-pressure, you must discharge air again from the fuselage with compensation holes in the fuselage in order to avert over-pressure.

Please consider that small amounts of fuel can escape from the carburettor.

Carburettor linkage

Your engine is equipped with a metal linkage, which is used to fix the rudder rod. Install this on the carburettor lever with an M2.5 screw (DIN 8.8) and a nut (DIN 8.8). Then solder the two as shown in the following figure.

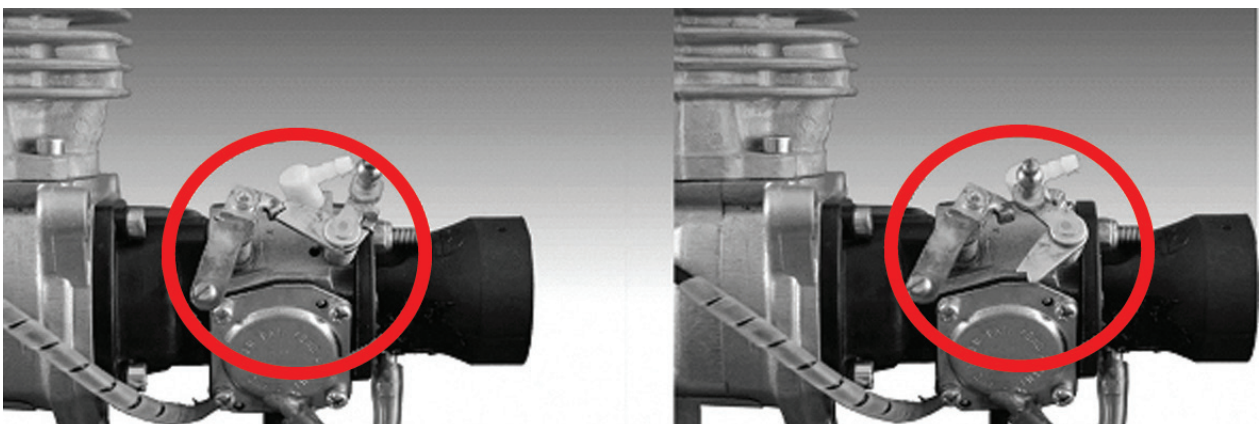


Figure 2: Engine with linkage (Example)

Observe the following: we recommend manufacturing the rudder rod out of metal.

Use a plastic ball head and a high-quality servo. You can thereby control your rotational speed with special constancy and precision.

Ignition

When positioning the ignition you should take care not to install it in the cylinder's hot-air stream.

The following things should generally be observed:

- Install receiver and ignition storage battery at least 10 cm away from each other.
- Protect the ignition cable with plastic spiral tape only.
- Do not pull off the spark plug connector with mechanical means (pliers).
- Pull the spark plug connector off with a twist-turn motion.
- The spark plug connector must be firmly seated on the plug base (hexagonal).
- System disruptions can occur if this is not the case.
- Use recommended ignition switch.
- Use no switch with a voltage regulator.

Tank

Bind the felt pendulum in the tank together with fuel-proof cable tape. A fuel-proof tube (e.g. brass) must be incorporated into the pendulum conduit in order to prevent the pendulum from rotating.

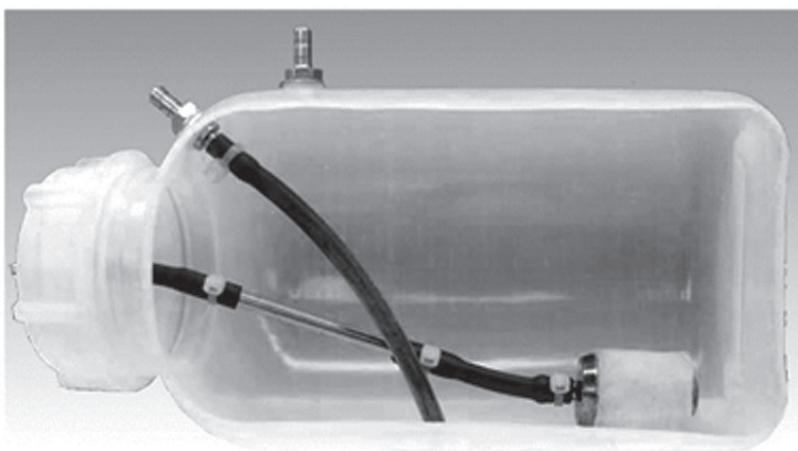


Figure 3: Tank interior view (Example)

The same diameter must be used for both the tank's ventilation and the carburettor's supply line.

Mufflers

Flexible muffler brackets are to be used in order to protect the manifold from damage.

These should be mounted at the strengthened part of the muffler. 3W mufflers have their own reinforcement ring for this to apply force.

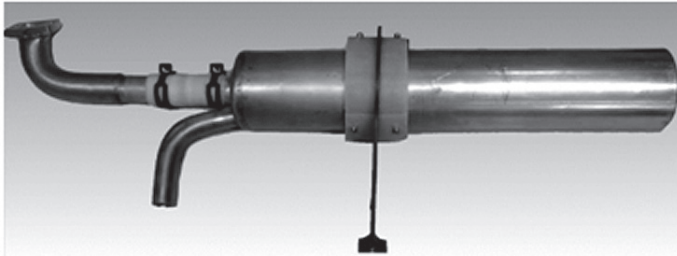


Figure 4: Muffler (Example)

We recommend using a horizontal plate to divide the forward fuselage area into two areas. Fuel tanks, storage batteries, and components can be mounted above on this plate. The mufflers are mounted underneath. Close off the rear end's lower area with an air guide angled downward.

Create openings on the mufflers' rear end through which the air is directed out again.

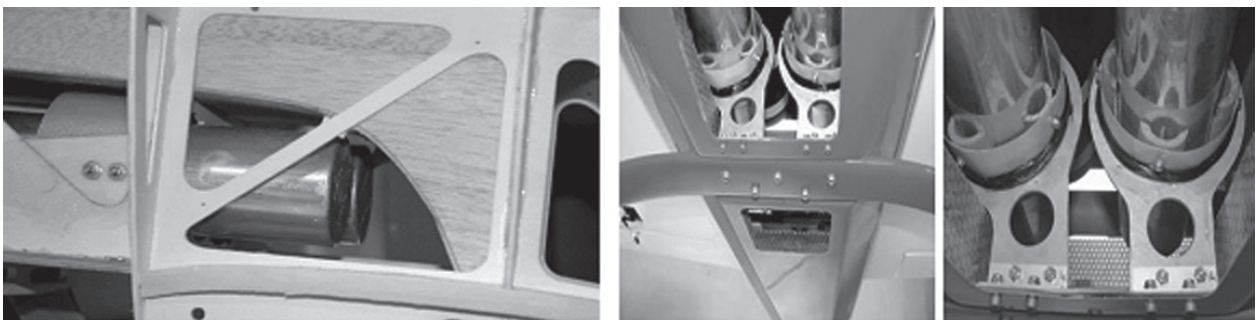


Figure 5: Installation example (Example)

Don't forget to use a suitable frame to restore lost stability caused by the openings.

3.3 Operation

Starting the engine

The engine must not be started by hand. Serious injuries could result during manual starting if the engine backfires. So use our starter without fail for safety reasons.

You should observe the following sequence when starting the engine:

- Close the choke flap.
- Switch on the ignition.
- Actuate the engine on the propeller. Ignition occurs after some three to five rotations (de-pending on the fuel line's length) and the engine stalls again after running briefly.
- Open the choke flap after the propeller comes to rest.
- Increase the idle somewhat.
- Actuate the engine and let it run warm a while (about 30 sec.).
- At least one person must hold the aircraft steady for safety reasons. Two or three persons might be necessary depending on engine type.

The carburettor is basically adjusted and still needs to be fine tuned. Read the notes for adjusting the carburettor to do this.

Breaking in the engine

We recommend undertaking a break-in process on a test bench because you can best familiarize yourself with the engine here.

You should observe the following sequence when breaking in the engine:

- Use a mineral-based 2-stroke engine oil in a 1:30 mixing ratio.
- Start the engine, set it to 2000 to 2500 rpm, and let run for two hours.
- Due to the rich mixture, it is advisable to operate the engine for the recommended break-in time without a muffler or with an old muffler.
- The additives contained engender a honing effect with the result that more dirt exits the ex-haust.
- After the break-in phase switch to a fully synthetic engine oil in a 1:50 ratio.
- When the break-in phase is over, mount the engine in the aircraft according to our installation instructions.
- Do not conduct long engine runs with completely open throttle flap as long as the engine hasn't completed its break-in period.

Your engine is broken in after a total run time of about 9 to 15 hours. Now use fully synthetic, 2-stroke oil with a mixing ratio according to manufacturer's specification 1:50/2% mix. We recommend a fuel with at least 92 octane and ethanol addition.

Carburettor setting

You need an tachometer to set the carburettor.

You should observe the following sequence when setting the carburettor:

- Start the engine for warming up.
- Set the engine for maximum power with the main nozzle needle (H).
- Measure the rotational speed.
- Rotate the main nozzle needle out until the rotational speed falls back to about 100 to 200 rpm.
- That way the engine always runs with the correct mixture.
- Measure the rotational speed.
- Bring the engine to a safe, low idle and let run for about 30 to 50 seconds.
- Check to see whether the rotational speed is constant.
- The idle nozzle needle (L) is incorrectly set if the rotational speed drops or the engine shuts down slowly.
- Rotate the idle nozzle needle in until the low idle is constant.
- If the engine runs faster, then it's set incorrectly.
- Rotate the idle nozzle needle out until the rotational speed remains constant.
- Give quick gas to check the transition again and readjust the nozzle needles as required.
- An optimally adjusted engine doesn't take gas during the first seconds of cold start.

Basic carburettor setting

Please check test protocol

4. MAINTENANCE

We recommend the following maintenance steps after each engine use:

- Check the spark plug for electrode cleanliness.
- The electrode gap must be 0.4 mm.
- Check for the correct needle setting on the carburettor (see sec. 3.2).
- Clean the air filter regularly.
- Check the muffler for possible oil-carbon deposits.
- Check the manifold for possible oil-carbon deposits.

5. RECOMMENDED CONSUMABLES

Description	Item number
Spark plug	20.010.580
Spark plug connector	20.010.575
mineral-based oil for break-in	10.100.852
Fully synthetic oil for operation	10.100.851
Spiral protection to protect the ignition cable (chromium)	10.102.580
Shielding braid for the ignition cable	10.010.550
Fuelling system	10.101.201
Spark plug spanner	10.102.040
Starter	10.102.990

6. ANNEXES

Annexe A: Technical data sheets

Annexe B: Replacement parts list



3W

RADIAFLEX®



DESCRIPTION

- Metalwork : mild steel, plated.
- Natural rubber, bonded, cylindrically shaped.
- Fixing by screws, nuts or mixed.

European thread standards are not always consistent with French thread standards so Paulstra has created the Radiaflex® Europe range based on those standards.

The end stop version is now available with a threaded hole in addition to the threaded stud.

CHARACTERISTICS

The design of the RADIAFLEX® mount gives the following basic characteristics:

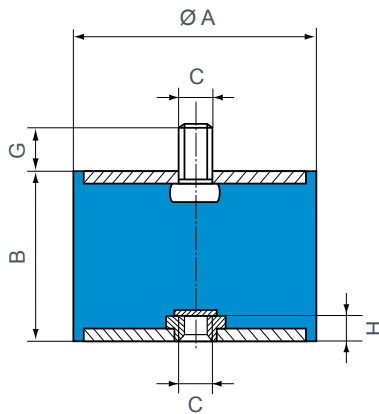
- radial elasticity greater than axial elasticity.
- the rubber works in :
 - compression (axial),
 - shear (radial),
 - compression/shear according to the fixing method.

Advantages

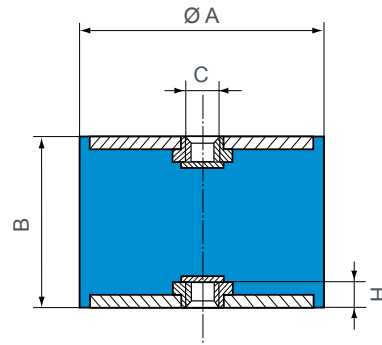
- Simple to fix.
- Simple and economical.
- Extensive range

DIMENSIONS AND COMPRESSIVE LOADS

Combination fixing



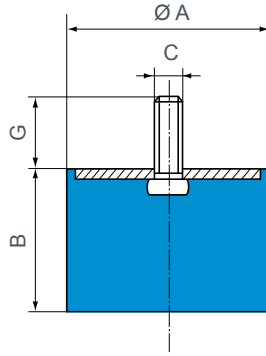
2 threaded holes



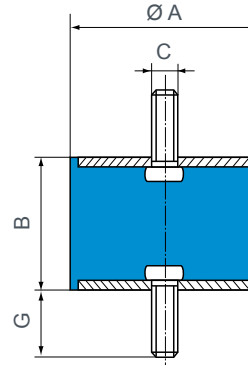
Ø A (mm)	B (mm)	C	G (mm)	H (mm)	Compression		Shear*		Ref.
					Max. load (daN)	Deflection (mm)	Max. load (daN)	Deflection (mm)	
16	10	M4	10	2	20	1,5	2,5	1,5	520053 520054
	15				3	2,5			
	10	M5	12	3	20	1,5	1,5	520010 520011 520012 520013	
	15				3	2,5			
20	4				2,5				
20	15	M6	16,5	4	35	2,5	2,5	520015 520016 520017 520018	
	20				3	5			
	25				4,5	4,5			
	30				5,5	4,5			
25	25	M6	18	6	40	3,5	9	5	520062
25,5	15	M6	18	4	60	2,5	8	8,5	520052 520055 520057
	20				3,5	8	4		
	30				7,5	8	6		
	22	M8	20	6	50	3,5	8	4	520021 520022 520023 520024
	25				5	8	4,5		
30	7,5				8	6			
30	15	M8	25	6	90	3	11	2,5	520025 520026 520027 520028
	22				4,5	11	4		
	30				7,5	11	6		
	40				9	11	7,5		
40	30	M8	20	6	150	4,5	20	5,5	520056 520058
	40				10	20	7,5		
	60				20	20	5,5		
	20	M10	25	8	160	4	20	3	520029 520030 520031 520032 520033
	28				5	20	5,5		
	35				7,5	20	6,5		
50	40	M10	15	8	120	10	20	7,5	520036/15
	45				11	20	9		
	20				3	35	9,8	520047 520048 520035 520063 520036	
	30				5	34	9,8		
	35				8	25	7		
60	36	M10	25	8	300	8	30	7	520038 520039
	45				10	30	9		
	250				8	25	7		
	28				7	34	8,5		
70	45	M10	28	10	190	11	25	9	520061
	35				7,5	35	6,5	520040 520041 520042	
	50				10	35	11		
75	40	M12	35	8	450	7	80		8,5
	55				10	30	9		
	70				14	35	15		
80	40	M12	28	10	600	8	40	7	520059
	40				8	40	7	520044 520045 520046	
	70				17	40	15		
	80				19	40	17		
100	40	M16	47	14	1 100	6	60	7	520100 520101 520102 520103
	55				12	60	10		
	80				19	60	17		
	80				19	60	17		
	100				18	60	20		

Ø A (mm)	B (mm)	C	H (mm)	Compression		Shear*		Ref.
				Max. load (daN)	Deflection (mm)	Max. load (daN)	Deflection (mm)	
16	10	M4	2,5	20	1,5	2,5	1,5	520550 520551
	15			3	2,5	2		
	10	M5	3	20	1,5	2,5	1,5	520500 520501 520502 520503
	15			3	2,5	2		
20	4			2,5	4			
20	15	M6	4	35	2,5	5	2,5	520505 520506 520507 520508
	20			3	5	5		
	25			4,5	4,5	3,5		
	30			5,5	4,5	4,5		
25,5	20	M6	4	50	3	8	4	520554 520555
	30			7,5	8	6		
	22	M8	6	50	3	8	4	520511 520512 520513 520514
	25			4,5	8	4,5		
	30			7,5	8	6		
30	22	M8	6	80	4	11	4	520516 520517 520518
	30			7,5	11	6		
	40			9	11	7,5		
40	30	M8	6	150	4,5	20	5,5	520552 520553
	40			10	20	7,5		
	28	M10	8	150	4,5	20	5,5	520520 520521 520522 520523
	35			7	20	6,5		
50	35	M10	8	250	7	25	7	520525 520526
	45			10	25	9		
50	30	M10	10	190	5	34	6	520524 520527 520533
	40			7	34	8,5		
	50			9	34	11		
60	36	M10	8	300	7	30	7	520528 520529
	45			9	30	9		
70	35	M10	9	450	7	35	6,5	520530 520531 520532
	50			9	35	11		
	70			14	35	15		
75	40	M12	13	450	7	80	8,5	520558 520557
	55			10	80	12		
80	40	M12	10	600	7	40	7,5	520556
	40			7	40	7	520534 520535 520536	
	70			17	40	15		
100	40	M16	14	600	4	60		7
	55			12	60	10		
	60			8	180	10		
	75			10	140	12		
	80			19	60	17		

1 threaded studs



2 threaded studs



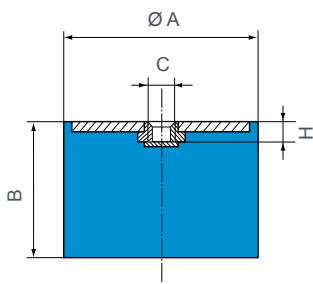
Ø A (mm)	B (mm)	C	G (mm)	Compression		Ref.	
				Max. load (daN)	Deflection (mm)		
12,5	10	M5	10	12	2	511110	
	13,5			11	2,5	511128	
	15			10	3	511115	
	20			8	3,5	511125	
16	10	M4	10	20	2	511150	
	15			3	511151		
	10	M5	12	20	2	511292	
	15			3	511294		
20	4			511296			
25	15	5	511298				
20	5	M6	10	77	0,6	511206	
	8,5			40	1,5	51120011	
	8,5	M6	16,5	40	1,5	511200	
	15			35	4	511215	
	20			30	5	511220	
	25			30	5,5	511225	
30	30			7	511230		
30	25			7	511230		
25,5	10	M6	18	80	2	511158	
	15			60	3,5	511155	
	20			50	5	511159	
	30			50	8	511160	
	5	M8	20	82	0,6	51126550	
	10			80	2	511265	
	15			60	3,5	511270	
	15	M8	12	60	3,5	51127013	
	19			55	4,5	511251	
	22			50	5,5	511275	
	25			50	6	511280	
	30	50	8	511285			
40	50	10	511290				
30	15	M8	25	90	3,5	511308	
	22			80	6	511310	
	30			70	8	511312	
	40			60	9	511314	
40	20	M8	20	160	5	511411	
	30			120	7	511157	
	40			120	10	511161	
	40			120	10	511161	
	20	M10	25	160	5	511450	
	25			150	6	511401	
35	120			8	511452		
40	120	10	511454				
45	120	11	511456				
50	25	M10	25	300	6	511525	
	35			250	9	511535	
	45			190	11	511545	
	45			190	11	511545	
	45			190	11	511545	
60	22	M10	25	350	3	513601	
	25			400	6	511625	
	36			300	9	511635	
	45			250	11	511645	
	45			250	11	511645	
70	35	M10	25	450	9	511735	
	50			350	12	511750	
	70			300	14	511770	
75	25	M12	37	600	4,5	511751	
	40			35	450	7	511713
	55			37	380	10	511714
80	40	M14	28	600	9	521658	
	30			45	950	7	521803
	30			35	950	7	521840
	40			35	600	9	521841
	70			35	500	17	521842
	80			35	450	19	521843
100	40	M16	47	1 100	8	521908	
	55			900	12	521909	
	80			750	19	521910	
	80			750	19	521910	

See current price list for availability of items.

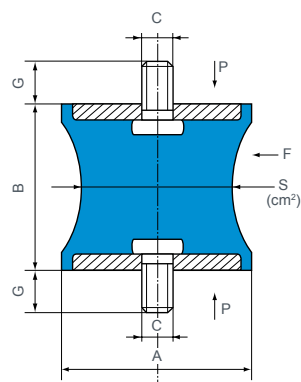
Ø A (mm)	B (mm)	C	G (mm)	Compression		Shear*		Ref.	
				Max. load (daN)	Deflection (mm)	Max. load (daN)	Deflection (mm)		
10	8	M3	6	10	1,6	1,25	0,9		
12	8	M3	6	12	1,2	1,5	0,75		
12,5	10	M5	10	12	2	1,5	1,5	521293	
	15			3	2,5	2	521128		
	20			8	2,5	4	521295		
16	10	M4	10	20	1,5	2,5	1,5	521650	
	15			3	2	521651			
	10	M5	12	20	1,5	2,5	1,5	521292	
	15			3	2,5	2	521294		
	20			4	2,5	4	521296		
	25			15	5	2	5	521298	
20	8,5	M6	16,5	40	0,6	5	1	521178	
	15			35	3	2,5	521249		
	20			30	4,5	5	521297		
	25			30	5,5	4,5	521299		
	30			25	7	4,5	521319		
	30			25	7	4,5	521319		
25	25	M6	18	40	3,5	9	3,5	521654	
25,5	10	M6	18	80	1,5	8	1,5	521655	
	15			60	2,5	8	2,5	521656	
	20			50	2	8	4	521652	
	30			50	7,5	8	6	521653	
	10	M8	20	80	1,5	8	1,5	521340	
	15			60	2,5	8	2,5	521341	
22	50			4	8	4	521251		
25	50			5,5	8	4,5	521342		
30	50			7,5	8	6	521343		
40	50			10	6,5	6	521344		
30	15	M8	25	90	3	11	2,5	521308	
	22			80	5	11	4	521310	
	30			70	8	11	6	521312	
	40			60	9	11	7,5	521314	
40	30	M8	20	150	6	20	5,5	521181	
	40			120	10	20	7,5	521657	
	20	M10	25	160	4	20	3	521450	
	28			150	6	20	5,5	521401	
	35			120	8	20	6,5	521452	
	40			120	10	20	7,5	521454	
45	120			11	20	9	521456		
45	120			11	20	9	521456		
50	20	M10	25	300	3	35	3,5	521583	
	25			25	300	6	25	4,5	521580
	30			25	190	5	34	6	521584
	35			25	250	8	25	7	521581
	40			28	170	7	34	8,5	521585
	45			25	190	11	25	9	521582
	45			25	190	11	25	9	52158215
	45			25	190	11	25	9	52158215
	50			M10	15	190	11	25	9
60	25	M10	25	400	5	30	4,5	521601	
	36			300	8	30	7	521603	
	45			250	11	30	9	521641	
	45			250	11	30	9	521641	
70	35	M10	25	450	8	35	6,5	521705	
	50			350	11	35	11	521710	
	70			300	14	35	15	521711	
75	25	M12	37	600	4,5	80	5	521712	
	40			35	450	7	80	8,5	521713
	40			35	450	7	80	8,5	521713
	55			37	380	10	80	12	521714
80	40	M12	28	600	9	40	7	521658	
	30			45	950	7	40	5	521803
	30			35	950	7	40	5	521840
	40			35	600	9	40	7	521841
	70			35	500	17	40	15	521842
	80			35	450	19	40	17	521843
100	40	M16	47	1 100	8	60	7	521908	
	55			900	12	60	10	521909	
	80			750	19	60	17	521910	
	80			750	19	60	17	521910	

* The shear characteristics are measured under axial load.

1 threaded hole

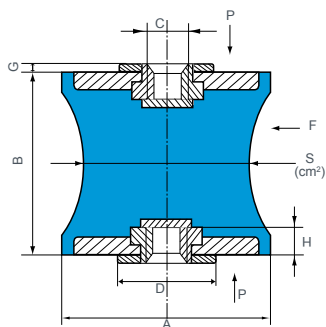


Diabolo mounts



Ø A (mm)	B (mm)	C	H (mm)	Compression		Ref.
				Maxi. load (daN)	Deflection (mm)	
16	10	M4	2,5	20	2	511152
	15			20	3	
20	15	M6	4	35	4	511154
25,5	15	M6	4	60	3,5	511164
	20			55	5,5	511162
	30			50	8	511163
30	22	M8	6	80	6	511156
40	28	M8	7	110	5	511178
	40		15	100	7,5	511179
50	20	M10	10	343	3,4	511168
	30			190	5	511180
	40			170	7	511181
60	25	M10	8	400	6	511182
	45			250	11	511183
75	25	M12	12	600	4,5	511184
	40			450	7	511185

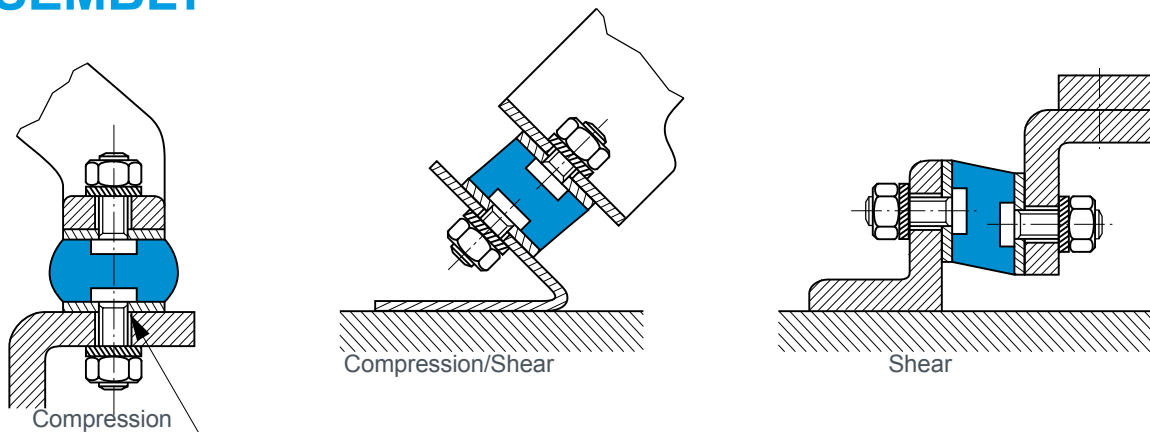
Ø A (mm)	B (mm)	C	G (mm)	Ø S (mm)	Compression (P)		Shear* (F)		Ref.
					Max. load (daN)	Deflection (mm)	Max. load (daN)	Deflection (mm)	
12,5	14	M5	10	0,3	3	1,4	0,5	1,2	521300
20	19	M6	16,5	1,6	12	2,5	3	5	521201
40	28	M10	25	3,1	30	5	2,5	4,5	521403
57	44	M8	20	5	40	5	7	5	521571
57	44	M8	20	9,5	75	5	12	6	521572
60	60	M10	25	19,5	150	8	30	10	521602
80	70	M14	35	38,5	300	9,5	55	9,5	521801
95	76	M16	45	50	400	9,5	70	8	521951



Ø A (mm)	B (mm)	C	Ø S (mm)	H (mm)	G (mm)	D (mm)	Compression (P)		Shear* (F)		Ref.
							Max. load (daN)	Deflection (mm)	Max. load (daN)	Deflection (mm)	
80	60	M14	38,5	15,5	3	30	250	5	70	8	521802

* Shear characteristics' are measured under axial load.

ASSEMBLY



The fixing holes for the Radiaflex mounts should have a chamfer with a depth equal to the pitch of the thread.

TERMOMETRÍA CON RESISTENCIAS DE PLATINO

RELACIÓN RESISTENCIA / TEMPERATURA. TOLERANCIAS, ESQUEMAS DE CONEXIÓN, SISTEMAS DE MEDICIÓN

RELACIÓN RESISTENCIA / TEMPERATURA ENTRE -200°C A +850°C PARA ELEMENTOS TERMORRESISTIVOS

°C (t ₉₀)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	°C (t ₉₀)
-200	18.52										-200
-190	22.83	22.40	21.97	21.54	21.11	20.68	20.25	19.82	19.38	18.95	-190
-180	27.10	26.67	26.24	25.82	25.39	24.97	24.54	24.11	23.68	23.25	-180
-170	31.34	30.91	30.49	30.07	29.64	29.22	28.80	28.37	27.95	27.52	-170
-160	35.54	35.12	34.70	34.28	33.86	33.44	33.02	32.60	32.18	31.76	-160
-150	39.72	39.31	38.89	38.47	38.05	37.62	37.22	36.80	36.38	35.96	-150
-140	43.88	43.46	43.05	42.63	42.22	41.80	41.39	40.97	40.56	40.14	-140
-130	48.00	47.59	47.18	46.77	46.36	45.94	45.53	45.12	44.70	44.29	-130
-120	52.11	51.70	51.29	50.88	50.47	50.06	49.65	49.24	48.83	48.42	-120
-110	56.19	55.79	55.38	54.97	54.56	54.15	53.75	53.34	52.93	52.52	-110
-100	60.26	59.85	59.44	59.04	58.63	58.23	57.82	57.41	57.01	56.60	-100
-90	64.30	63.90	63.49	63.09	62.68	62.28	61.88	61.47	61.07	60.66	-90
-80	68.33	67.92	67.52	67.12	66.72	66.32	65.91	65.51	65.11	64.70	-80
-70	72.33	71.93	71.53	71.13	70.73	70.33	69.93	69.53	69.13	68.73	-70
-60	76.33	75.93	75.53	75.13	74.73	74.33	73.93	73.53	73.13	72.73	-60
-50	80.31	79.91	79.51	79.11	78.72	78.32	77.92	77.52	77.12	76.73	-50
-40	84.27	83.87	83.48	83.08	82.69	82.29	81.89	81.50	81.10	80.70	-40
-30	88.22	87.83	87.43	87.04	86.64	86.25	85.85	85.46	85.06	84.67	-30
-20	92.16	91.77	91.37	90.98	90.59	90.19	89.80	89.40	89.01	88.62	-20
-10	96.09	95.69	95.30	94.91	94.52	94.12	93.73	93.34	92.95	92.55	-10
0	100.00	99.61	99.22	98.83	98.44	98.04	97.65	97.26	96.87	96.48	0
10	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51	10
20	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40	20
30	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.29	30
40	111.67	112.06	112.45	112.84	113.23	113.61	114.00	114.39	114.78	115.17	40
50	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01	50
60	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.47	122.86	60
70	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69	70
80	127.08	127.46	127.84	128.22	128.61	128.99	129.37	129.75	130.13	130.52	80
90	130.90	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.57	133.95	134.33	90
100	134.71	135.09	135.47	135.85	136.23	136.61	136.99	137.37	137.75	138.13	100
110	138.51	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.78	141.16	141.54	141.91	110
120	142.29	142.67	143.05	143.43	143.80	144.18	144.56	144.94	145.31	145.69	120
130	146.07	146.44	146.82	147.20	147.57	147.95	148.33	148.70	149.08	149.46	130
140	149.83	150.21	150.58	150.96	151.33	151.71	152.08	152.46	152.83	153.21	140
150	153.58	153.96	154.33	154.71	155.08	155.46	155.83	156.20	156.58	156.95	150
160	157.33	157.70	158.07	158.45	158.82	159.19	159.56	159.94	160.31	160.68	160
170	161.05	161.43	161.80	162.17	162.54	162.91	163.28	163.66	164.03	164.40	170
180	164.77	165.14	165.51	165.88	166.26	166.63	167.00	167.37	167.74	168.11	180
190	168.48	168.85	169.22	169.59	169.96	170.33	170.70	171.07	171.43	171.80	190
200	172.17	172.54	172.91	173.28	173.65	174.02	174.38	174.75	175.12	175.49	200
210	175.86	176.22	176.59	176.96	177.33	177.69	178.06	178.43	178.79	179.16	210
220	179.53	179.89	180.26	180.63	180.99	181.36	181.72	182.09	182.46	182.82	220
230	183.19	183.55	183.92	184.29	184.65	185.01	185.38	185.74	186.11	186.47	230
240	186.84	187.20	187.56	187.93	188.29	188.66	189.02	189.38	189.75	190.11	240
250	190.47	190.84	191.20	191.56	191.92	192.28	192.65	193.01	193.37	193.74	250
260	194.10	194.46	194.82	195.18	195.55	195.91	196.27	196.63	196.99	197.35	260
270	197.71	198.07	198.43	198.79	199.15	199.51	199.87	200.23	200.59	200.95	270
280	201.31	201.67	202.03	202.39	202.75	203.11	203.47	203.83	204.19	204.55	280
290	204.90	205.26	205.62	205.98	206.34	206.70	207.05	207.41	207.77	208.13	290
300	208.48	208.84	209.20	209.56	209.91	210.27	210.63	210.98	211.34	211.70	300
310	212.05	212.41	212.76	213.12	213.48	213.83	214.19	214.54	214.90	215.25	310
320	215.61	215.96	216.32	216.67	217.03	217.38	217.74	218.09	218.44	218.80	320
330	219.15	219.51	219.86	220.21	220.57	220.92	221.27	221.63	221.98	222.33	330

TABLA DE CONVERSIÓN °C / °F

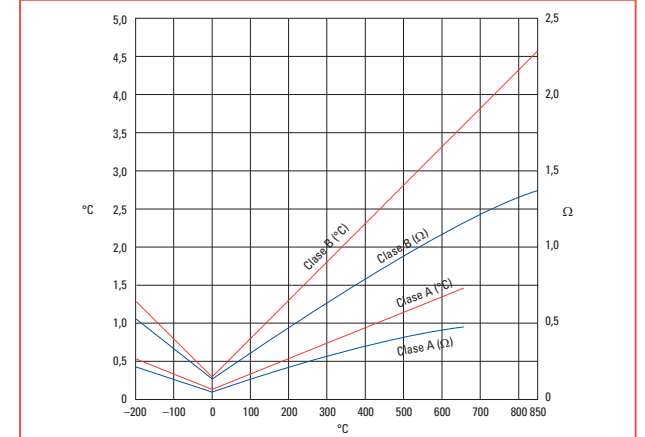
Fórmula de conversión:

$$°C = \frac{(°F - 32)}{1.8}$$

$$°F = 1.8 °C + 32$$

°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F
-40	-40.0	0	32.0	+30	+86.0	+100	+212	+250	+482	+400	+752	+1000	+1832
-30	-36.4	+1	33.8	31	87.8	105	221	255	491	405	761	1050	1922
-20	-32.8	2	35.6	32	89.6	110	230	260	500	410	770	1100	2012
-10	-29.2	3	37.4	33	91.4	115	239	265	510	420	780	1150	2102
-32	-25.6	4	39.2	34	93.2	120	248	270	518	420	788	1200	2192
-30	-22.0	5	41.0	35	95.0	125	257	275	527	425	797	1250	2282
-20	-18.4	6	42.8	36	96.8	130	266	280	536	430	806	1300	2372
-10	-14.8	7	44.6	37	98.6	135	275	285	545	435	815	1350	2462
0	-11.2	8	46.4	38	100.4	140	284	290	554	440	824	1400	2552
-22	-7.6	9	48.2	39	102.2	145	293	295	563	445	833	1450	2642
-20	-4.0	10	50.0	40	104.0	150	302	300	572	450	842	1500	2732
-10	-2.2	11	51.8	41	105.8	155	311	305	581	455	851	1550	2822
-18	-0.4	12	53.6	42	107.6	160	320	310	590	460	860	1600	2912
-17	+1.4	13	55.4	43	109.4	165	329	315	599	465	869	1650	3002
-7	3.2	14	57.2	44	111.2	170	338	320	608	470	878	1700	3092
-15	5.0	15	59.0	45	113.0	175	347	325	617	475	887	1750	3182
-4	6.8	16	60.8	46	114.8	180	356	330	626	480	896	1800	3272
-3	8.6	17	62.6	47	116.6	185	365	335	635	485	905	1850	3362
-12	10.4	18	64.4	48	118.4	190	374	340	644	490	914	1900	3452
-11	12.2	19	66.2	49	120.2	195	383	345	653	495	923	1950	3542
-10	14.0	20	68.0	50	122.0	200	392	350	662	500	932	2000	3632
-9	15.8	21	69.8	51	123.8	205	401	355	671	505	941	2050	3722
-8	17.6	22	71.6	52	125.6	210	410	360	680	510	950	2100	3812
-7	19.4	23	73.4	53	127.4	215	419	365	689	515	959	2150	3902
-6	21.2	24	75.2	54	129.2	220	428	370	698	520	968	2200	3992
-5	23.0	25	77.0	55	131.0	225	437	375	707	525	977	2250	4082
-4	24.8	26	78.8	56	132.8	230	446	380	716	530	986	2300	4172
-3	26.6	27	80.6	57	134.6	235	455	385	725	535	995	2350	4262
-2	28.4	28	82.4	58	136.4	240	464	390	734	540	1004	2400	4352
-1	30.2	29	84.2	59	138.2	245	473	395	743	545	1013	2450	4442

VALORES DE TOLERANCIA PARA ELEMENTOS DE 100 OHMIOS SEGÚN LA NORMA IEC 60751



TEMPERATURA °C	TOLERANCIA IEC 60751:2008			
	CLASE A		CLASE B	
	± %	± OHMS	± %	± OHMS
-200	0.55	0.24	1.3	0.56
-100	0.35	0.14	0.8	0.32
0	0.15	0.06	0.3	0.12
100	0.35	0.13	0.8	0.30
200	0.55	0.20	1.3	0.48
300	0.75	0.27	1.8	0.64
400	0.95	0.33	2.3	0.79
500	1.15	0.38	2.8	0.93
600	1.35	0.43	3.3	1.06
650	1.45	0.46	3.6	1.13
700	-	-	3.8	1.17
800	-	-	4.3	1.28
850	-	-	4.6	1.34

RELACIÓN TEMPERATURA / RESISTENCIA

Las relaciones de temperatura / resistencia que se deberían utilizar son las siguientes:

Para un rango -200°C a 0°C: $R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t-100)^3]$