



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño



DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y MEJORA DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE GASOLINA POR BUCLE CERRADO.

MEMORIA PRESENTADA POR:

Fernando López Vidal-Abarca

TUTOR:

Pablo Cesar Olmeda González

Septiembre 2021

Agradecimientos

Deseo agradecer en primer lugar al profesor Pablo Cesar Olmeda González el ofrecerse a tutelar este proyecto y la implicación, dedicación y acertados consejos brindados durante su realización.

Me gustaría asimismo dedicar un agradecimiento especial a la empresa Quaternium, por permitirme realizar en sus instalaciones la gran cantidad de pruebas que han sido necesarias.

En último lugar agradecer a mis padres y compañeros de trabajo su inestimable ayuda a lo largo de estos 2 años de trabajo.

Resumen

Este trabajo nace de la necesidad de solucionar los problemas que presentan los motores Zenoah G320RC (motor 2 tiempos para radio control) con los cambios de altura, ya que estos motores se encuentran instalados en drones de alto rendimiento, con altos tiempos de vuelo (más de 8 horas) siendo imperiosa la necesidad de una combustión estable y controlable. Para ello se propone un cambio de alimentación por carburación a inyección.

Con este objetivo en mente se va a realizar el diseño de un cuerpo de inyección que posteriormente se fabricará mediante impresión en 3D. Este estará compuesto por un servomotor unido a una mariposa para controlar el paso de aire, así como de un inyector.

Para la alimentación de gasolina se va a utilizar una bomba brushless, gestionada por un variador de frecuencia programado para controlar la bomba en un bucle cerrado, en función de un sensor de presión que, a través de un Arduino, asegura la estabilidad de la inyección.

Una vez construido, todo el sistema se gestionará a través de una centralita programable, (MegaSquirt) con la que se creará el mapa de inyección que permitirá ajustar la carburación, y que automáticamente hará correcciones según varios parámetros, entre ellos la presión barométrica a diferentes alturas.

Resum

Aquest treball naix de la necessitat de convertir motors Zenoah G320RC (motor 2 temps per a ràdio control) de carburació a injecció per a solucionar els problemes que genera la carburació amb els canvis d'altura atés que aquests motors estan instal·lats en drons d'alt rendiment, amb alts temps de vol (més de 8 hores) sent imperiosa la necessitat d'una combustió estable i controlable.

Per a aconseguir aquest objectiu es realitzarà el disseny d'un cos d'injecció que posteriorment es fabricarà mitjançant impressió en 3D, compost per un servomotor unit a una papallona per a controlar el pas d'aire, així com d'un injector.

Per a l'alimentació de gasolina s'utilitzarà una bomba brushless gestionada per un variador de freqüència que està programat per a controlar la bomba amb un bucle tancat en funció d'un sensor de pressió que a través d'un arduino assegura així l'estabilitat de la injecció.

Una vegada construït tot el sistema es gestionarà a través d'una centralita programable (MegaSquirt) amb el qual crearem el mapa d'injecció que ens permetrà ajustar la carburació i que automàticament farà correccions segons la pressió baromètrica a diferents altures, així com d'altres paràmetres.

Abstract

This work arises from the need to convert Zenoah G320RC engines (2-stroke radio control engine) from carburetor to injection to solve the problems generated by carburetor with changes in height, because these engines are installed in high-performance drones with high flight times (more than 8 hours), the need for stable and controllable combustion being imperative.

To achieve this objective, the design of an injection body will be carried out, which will later be manufactured by 3D printing, consisting of a servomotor linked to a butterfly to control the passage of air, as well as an injector.

For the gasoline supply, a brushless pump managed by a frequency variator will be used, which is programmed to control the pump with a closed loop based on a pressure sensor that, through an arduino, ensures injection stability.

Once the entire system is built, it will be managed through a programmable control unit (MegaSquirt), where it will create the injection map that will allow adjusting the carburation and it will automatically make corrections according to the barometric pressure at different heights, as well as other parameters.

INDICE

DOCUMENTO 1: MEMORIA	13
Capítulo 1: INTRODUCCIÓN	14
1.1.- Motivación	14
1.2.- Objetivo	15
1.3.- Contenido	16
Capítulo 2: CONSIDERACIONES PREVIAS	17
2.1.- Introducción a los sistemas de alimentación de combustible	17
2.2.- Partes del sistema	19
Capítulo 3: INYECCIÓN	23
3.1.- Cuerpo de Inyección	23
Capítulo 4: BOMBAS DE GASOLINA	38
4.1.- Bomba de engranajes	38
4.2.- Regulador de presión	39
4.3.- Bomba trifásica "brushless"	40
4.4.- Regulador electrónico de presión	42
4.5.- Programación del microcontrolador	43
Capítulo 5: ELECTRÓNICA	45
5.1.- Engine Control Unit (ECU)	45
5.2.- Cableado	46
5.3.- Governor	46
Capítulo 6: CARBURACIÓN	48
Capítulo 7: PRUEBAS	50
7.1.- Test de rendimiento	50
7.2.- Test de fiabilidad	53
Capítulo 8: CONCLUSIONES	54
Capítulo 9: BIBLIOGRAFÍA.	55
DOCUMENTO 2: ANEXOS	56
Anexo 1: Programa en C++ para el PID de la bomba	57
Anexo 2: Datos del test de durabilidad	59
DOCUMENTO 3: COSTE DEL PROYECTO	63
DOCUMENTO 4: PLIEGO DE CONDICIONES	67
DOCUMENTO 5: PLANOS	77

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1: Fotografía del motor Zenoah G320RC
- Figura 2: Rotor
- Figura 3: Estator/bobinado
- Figura 4: Rectificador pasivo
- Figura 5: Ventilador original
- Figura 6: Ventilador rediseñado
- Figura 7: Escape original
- Figura 8: Escape de fabricación propia
- Figura 9: Carburador Walbro
- Figura 10: Servo Savox SH-0257MG
- Figura 11: Captura SolidWorks Cuerpo de inyección 1
- Figura 12: Captura SolidWorks Cuerpo de inyección 2
- Figura 13: Inyector MEV1-030-A
- Figura 14 Captura SolidWorks Cuerpo de inyección 3
- Figura 15: Captura SolidWorks Cuerpo de inyección 4
- Figura 16: Captura SolidWorks Cuerpo de inyección 5
- Figura 17: Captura SolidWorks puente del inyector
- Figura 18 Captura SolidWorks Anclaje de servomotor
- Figura 19: Eje de la mariposa
- Figura 20: Mariposa
- Figura 21: Captura SolidWorks tobera de admisión
- Figura 22: Captura SolidWorks cuerpo de inyección completo
- Figura 23: Cuerpo de inyección mecanizado en CNC
- Figura 24: Rediseño de la mariposa
- Figura 25: Anclaje de servomotor
- Figura 26: Puente del servomotor
- Figura 27: Rediseño del puente del inyector
- Figura 28: Rediseño del cuerpo de inyección completo
- Figura 29: Captura de programa de laminado Cura
- Figura 30: Cuerpo de inyección impreso en 3D

Figura 31: Cuerpo de inyección impreso en SLS
Figura 32: Tapa del inyector mecanizada en aluminio
Figura 33: Bomba Hptech ZP25M14F
Figura 34: Regulador de presión
Figura 35: Casquillo del regulador
Figura 36: Variador de frecuencia EMAX
Figura 37: Bomba sin escobillas y su correspondiente casquillo
Figura 38: Regulador de presión en condiciones de uso
Figura 39: Seeeduino XIAO
Figura 40: ECU con y sin su correspondiente carcasa
Figura 41: Cableado
Figura 42: Governor
Figura 43: Mapa de inyección
Figura 44: Ejemplo de prueba de consumo
Figura 45: Gráfica de consumo

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Test de potencia

Tabla 2: Media de potencia

Tabla 3: Comparación de consumo

DOCUMENTO 1: MEMORIA

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN

1.1.- Motivación

Al iniciar mis prácticas en la empresa de drones híbridos Quaternium se me propuso el objetivo de ayudar en el desarrollo de los motores de combustión interna alternativos utilizados en estos drones como extensores de rango.

Tras un estudio inicial se comprobó la baja fiabilidad del uso de la carburación en motores que deben funcionar en condiciones altamente variables como altitudes superiores a 2.000 metros y temperaturas que pueden cambiar de temperaturas inferiores a 0 grados centígrados hasta 50 grados centígrados en condiciones desérticas

Desarrollar un sistema que funcione con fiabilidad en cada una de estas situaciones es un reto en sí mismo, pero aunar todas las posibilidades en un mismo sistema se trata de un reto hercúleo.

Otro de los problemas que presenta el sistema con carburación es el del consumo de combustible, lo que no es de un problema trivial ya que en una aeronave cada gramo cuenta y este consumo afecta doblemente a su autonomía.

El análisis de estos dos factores lleva a la idea de utilizar un sistema de inyección electrónica cuyas mayores fortalezas son justamente la estabilidad y controlabilidad de la combustión, así como un exhaustivo control del consumo de gasolina.

1.2.- Objetivo

En el mundo de los motores de combustión interna alternativos, como los utilizados en la inmensa mayoría de los automóviles, la inyección electrónica es un estándar hoy en día. Aún existen pequeños reductos de utilización de la carburación en motores de 2 tiempos de baja cilindrada para, por ejemplo, ciclomotores, motosierras y UAVs (unmanned aerial vehicles).

Es en este último grupo donde se va a centrar el estudio. Para las aeronaves no tripuladas lo normal es que, o bien sean eléctricas (tendencia que se encuentra en alza, aunque tiene sus inconvenientes que se analizarán a lo largo de este trabajo) o bien utilizan motores de combustión con carburación, ya que es extremadamente difícil encontrar sistemas de inyección electrónica para motores de tan baja cilindrada, y los que se comercializan hoy en día tienen un precio significativo con relación al coste final de las aeronaves donde se montan.

Este factor de escasez define el objetivo de este proyecto: **desarrollar un sistema de inyección electrónica propio**. Ya que en las aeronaves el peso es primordial se va a buscar que sea más ligero y barato que el resto de las opciones que se comercializan manteniendo las cotas de fiabilidad que se requieren para este tipo de sistemas.

1.3.- Contenido

En este estudio se va a realizar el diseño, optimización, y fabricación de un sistema de alimentación por inyección indirecta de un motor de combustión interna alternativo con el que se realizarán una serie de pruebas en un banco de potencia para caracterizar las mejoras tangibles frente al sistema de carburación que se utiliza actualmente.

El presente trabajo de final de máster se ha estructurado en 8 capítulos cuyos contenidos se describen a continuación:

El primer capítulo enumera los motivos que justifican la realización de este proyecto, los objetivos que se deben cumplir a lo largo del desarrollo de este y la estructura general.

En el segundo capítulo se encuentra una introducción a los diferentes tipos de alimentación de combustible para poner en contexto el tipo de sistema sobre el que se va a centrar el desarrollo de este proyecto.

En el tercer capítulo se explican tanto las bases sobre las que se apoya el diseño como el propio diseño mecánico de todo el sistema.

En el cuarto capítulo se realiza la implementación de un bucle cerrado para la alimentación de combustible, así como el control de la bomba de combustible.

El quinto capítulo trata de la electrónica de la que se dispone para el control de todo el sistema.

En el sexto capítulo se estudiará la carburación que se debe hacer para el correcto funcionamiento del motor.

En el séptimo capítulo se determinarán las características de rendimiento fiabilidad y viabilidad del conjunto del sistema a través de una serie de pruebas.

El octavo capítulo cierra el proyecto con unas conclusiones que analizan todo el trabajo realizado y las posibles aplicaciones futuras del mismo.

Capítulo 2: CONSIDERACIONES PREVIAS

2.1.- Introducción a los sistemas de alimentación de combustible

2.1.1.- Conceptos básicos

Los motores de combustión interna alternativos funcionan transformando la energía química del combustible utilizado para, mediante un proceso rápido de oxidación (combustión), obtener una cantidad de energía mecánica a través del movimiento lineal del pistón. Este movimiento se convierte en energía de rotación por el mecanismo de biela-manivela, perdiendo cierta cantidad de energía en forma de calor.

Una vez claro el cómo funcionan este tipo de motores, la siguiente pregunta es, ¿cómo se introduce este combustible en el motor de manera que en este se genere una combustión? Para que esta reacción de combustión se produzca se requieren tres elementos: combustible, comburente, y una fuente de calor, que en este caso son gasolina, aire y una bujía. Pero la relación existente entre la cantidad de combustible y el comburente es vital para la correcta combustión de la mezcla. Esta relación se denomina dosado (F) y se define como la masa del combustible partido por la masa de aire.

En el caso de la gasolina, el valor de este parámetro para conseguir una combustión completa es de 14,7. A esta relación se le denomina dosado estequiométrico (F_e) y se trata de una cifra intrínseca de cada combustible.

Las dos masas de aire y gasolina se deben mezclar de la manera más eficaz posible para mejorar la combustión. Esta mezcla se realiza tanto en el proceso de admisión como en la carrera de compresión que realiza el pistón. Durante la fase de admisión, si se utiliza el carburador, el combustible que se introduce lo hace impulsado por una presión negativa generada por el efecto Venturi, introduciendo tanto el aire como el combustible en el interior del cilindro, por lo que la gasolina reposa en una cuba a la que va cayendo a través de un manguito desde el depósito.

Para el sistema que se propone en este proyecto, la introducción del combustible en el

sistema de admisión se va a realizar a través de un inyector de gasolina. Este, comandado por la ECU (electronic control unit), se abre durante un determinado tiempo, permitiendo al combustible atomizarse mientras se introduce en el cilindro. Para que se produzca esta atomización y no un goteo es necesario que el sistema se encuentre presurizado, por lo que también es necesaria una bomba que impulse el combustible desde el depósito.

Aparte de en la forma de introducción de combustible, estos sistemas se diferencian en la forma en que gestionan el paso del fluido al interior del cilindro. En el caso del carburador se trata de un sistema puramente mecánico. Una compuerta (mariposa) bloquea en reposo el paso de aire y al girar 90° permite el máximo flujo. Tradicionalmente se utiliza unida a un cable para moverla a su posición de máxima apertura y retorna por muelle a la posición de reposo.

Por el contrario, para el sistema de inyección es necesario tener una lectura precisa de donde se encuentra esta mariposa en cada momento ya que, dependiendo de esta posición entre otros factores, se determina la cantidad de combustible que se debe inyectar. Para ello se utiliza un sensor llamado TPS (por sus siglas en inglés Throttle position sensor), y para controlar la mariposa se utiliza un servomotor que facilita el posicionamiento concreto de la misma.

2.2.- Partes del sistema

En este apartado se estudiarán los diferentes elementos de los que se parte y sobre los que a lo largo del desarrollo de este proyecto se intervendrá para adaptarlos a los requerimientos de este.

Cabe destacar que en este apartado se van a explicar las mejoras que ya se encuentran realizadas en los diversos elementos antes de la realización de este estudio.

2.2.1.- Motor

Como se mencionó al inicio de este trabajo, se parte del motor que ya se montaba de manera exclusiva en el dron híbrido Hybrix 2.1. Se trata de un Zenoah G320RC. Zenoah es una empresa del grupo sueco Husqvarna especializado en herramientas de jardinería, y que también dispone de un departamento de motores para aplicaciones en diversos tipos de vehículos de radio control. (Como se observa en la figura 1).



Figura 1: Fotografía del motor Zenoah G320RC

Como deja entrever su nombre, este motor anuncia una cilindrada de 32 centímetros

cúbicos, cubicando en realidad 31,8 cm³. Para continuar enumerando las especificaciones más significativas de este motor se debe indicar que se alimenta a través de un carburador Walbro, que absorbe la gasolina por efecto Venturi desde el depósito.

Para terminar, se debe destacar que se trata de un motor con un sistema de arranque con retroceso en el que se debe tirar de una polea para empezar a girar el motor.

Una vez se tiene claro el punto de partida en cuanto al tema del motor, hay que destacar que, como se verá más adelante, se trata del elemento que menos se modifica a lo largo del proyecto, dado que para poder implementar la EFI (Electronic Fuel Injection) lo único que se debe realizar es un taladro roscado de métrica 5 en la culata del motor para introducir un sensor de temperatura NTC de 100 k Ω , una resistencia de uso común en el mundo de las impresoras 3D. Este sensor se pega con un pegamento epoxi bi-componente de alta temperatura (Loctite EA 9466) a un casquillo roscado de métrica 5.

2.2.2.- Alternador

Este elemento es el que verdaderamente hace del motor de explosión un extensor de rango, convirtiendo la energía mecánica en energía eléctrica. Este sistema consta de un estator trifásico (figura 2) el cual es excitado por un rotor (figura 3) que dispone de imanes permanentes y se encuentra mecánicamente unido al cigüeñal.



Figura 3: Estator/bobinado



Figura 2: Rotor

2.2.3.- Rectificador

El siguiente subsistema que interviene en la generación de la electricidad es el rectificador pasivo (figura 4), el cual convierte la corriente de entrada alterna y trifásica en corriente continua a través de 6 diodos. Esta corriente se vuelca a una placa PDB (Power Distribution Board), que se encarga de entregarla a los motores del dron además de utilizar el sobrante para cargar las baterías.

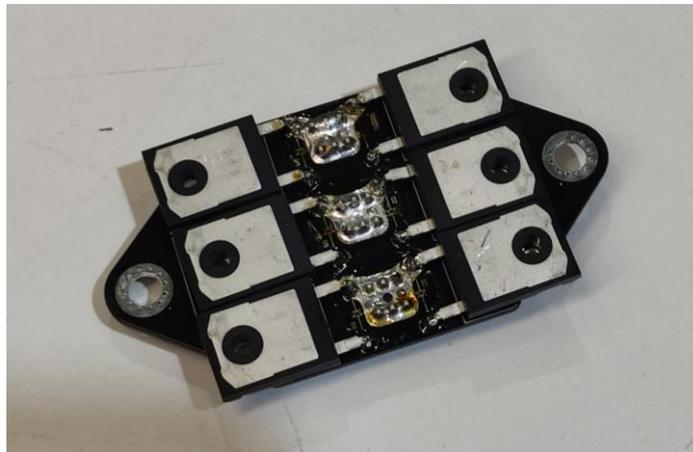


Figura 4: Rectificador pasivo

2.2.4.- Ventilador

Al tratarse de un sistema que basa su refrigeración en el paso de aire a través de las aletas dispuestas de manera perpendicular a la pared exterior del cilindro, es necesario disponer de un ventilador mecánico (figura 5) que fuerce el flujo de aire a través de estas aletas. Ya que este motor va a trabajar a un régimen de revoluciones muy alto (prácticamente fuera de las especificaciones) se ha mejorado el ventilador (figura 6) para que tenga menos inercia y genere mayor flujo de aire.



Figura 5: Ventilador original



Figura 6: Ventilador rediseñado

2.2.5.- Escape

Originariamente este motor incorpora de serie un sistema de escape tipo muffler (figura 7) que consiste en una única cavidad con una salida a través de un tubo de longitud determinada. Este tipo de escapes se utilizan en los motores de dos tiempos con la única función de silenciar el ruido producido por las explosiones del motor, pero deja de lado el objetivo de mejorar la eficiencia de la salida de gases. Para mejorar la eficiencia del motor, y por consiguiente el rendimiento del dron en vuelo, se ha desarrollado un sistema de escape “tunned” (figura 8), que como su nombre sugiere significa que está sintonizado con las ondas de escape para evacuar de manera más eficaz los gases, aumentando significativamente la potencia.



Figura 7: Escape original



Figura 8: Escape de fabricación propia

Capítulo 3: INYECCIÓN

3.1.- Cuerpo de Inyección

En este apartado se abordará el diseño, fabricación, y desarrollo del cuerpo de inyección, empezando por el estudio del sistema de alimentación de combustible montado de manera original en el motor objeto del proyecto.

3.1.1.- Carburador

Como ya se mencionaba en la introducción del trabajo el motor monta originariamente un carburador Walbro WT-1107 (figura 9). Este dispone de una apertura de 15,88 mm de diámetro y una sección para el Venturi (donde se produce la depresión) de 13,5 mm de diámetro. Estos datos son de vital importancia a la hora de hacer los primeros cálculos para diseñar posteriormente el cuerpo de inyección.

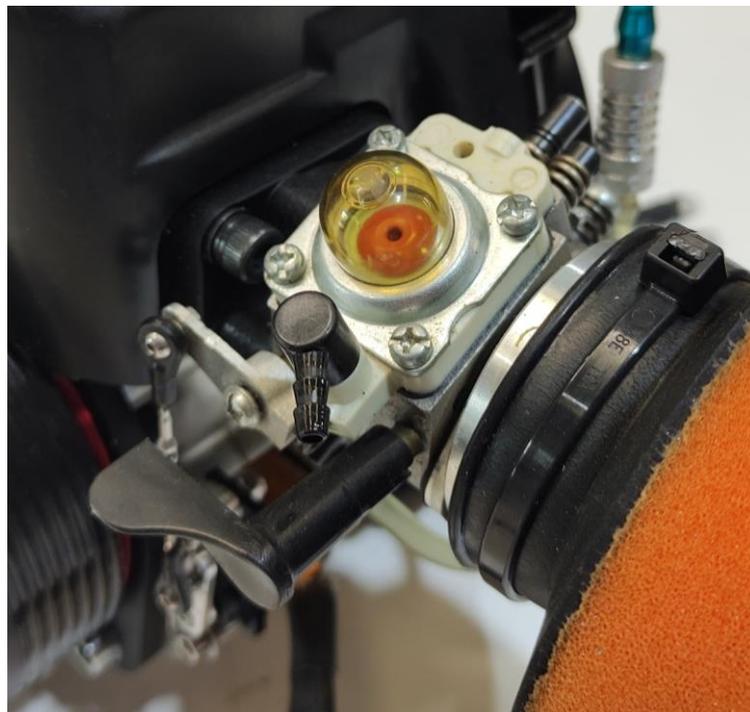


Figura 9: Carburador Walbro

Al ser un sistema que se monta en un dron pilotado por radio control, para la manipulación de la mariposa que abre o cierra la apertura de entrada de aire es necesario el uso de un servomotor que electrónicamente varía la posición de dicha mariposa, anclado mecánicamente a la misma a través de una biela y una manivela (figura 10).

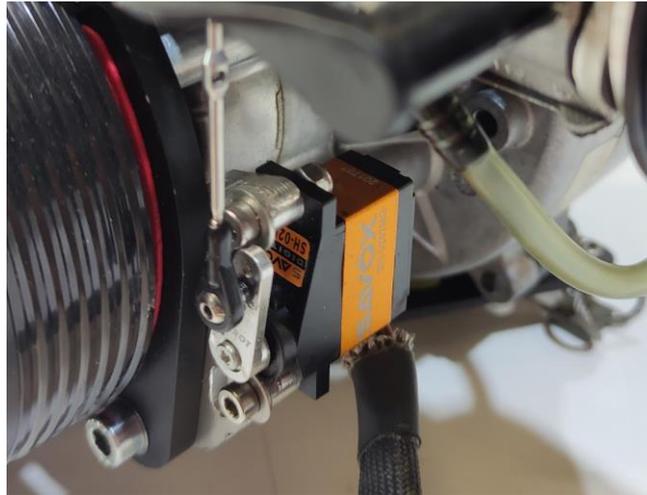


Figura 10: Servo Savox SH-0257MG

3.1.2.- Diseño del cuerpo de inyección

El diseño del cuerpo de inyección se va a realizar de manera exclusiva con la ayuda del software de diseño SolidWorks. Es importante tener en cuenta que, al ir fabricado en aluminio, una mayor complejidad en el diseño va a implicar un importante aumento en el coste de la pieza.

Para empezar a diseñar el cuerpo de inyección se deben tener en cuenta una serie de condicionantes iniciales. El primero de ellos viene derivado de pensar donde vamos a anclarlo al motor. Por facilidad se ha decidido que sea a las dos roscas donde está atornillado el carburador original. Se trata de dos roscas de métrica 5, separadas por 31 mm. Entre ellas se encuentra la tobera de entrada de 15,8 mm de diámetro, por lo que aquí se centrara el cuerpo. Aunque la admisión del motor tiene, como ya se ha dicho, un diámetro de 15,8 mm, dado que el tamaño mínimo del paso del aire en el carburador es de 13.5 mm de diámetro, el paso de aire mínimo del cuerpo de inyección será medio centímetro más grande para permitir una

mayor entrada de aire, pero sin desvirtuar en exceso los parámetros originales del diseño de la admisión para este motor.

La longitud del cuerpo de admisión viene determinada de nuevo por el tamaño del carburador que en este caso tiene una longitud de 28 mm como se ve en la figura 11.

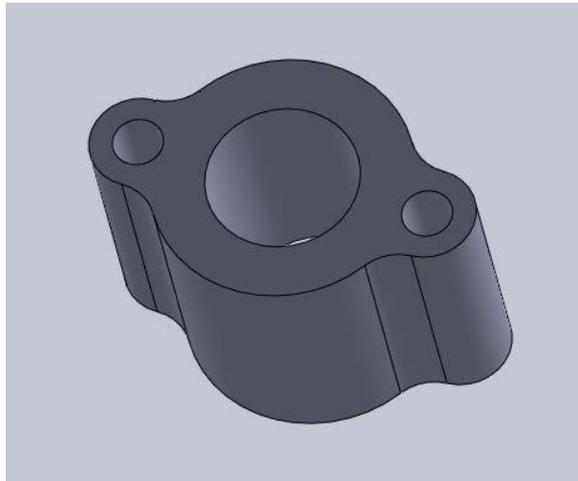


Figura 11: Captura SolidWorks Cuerpo de inyección 1

Se realiza un rebaje para reducir el material innecesario del cuerpo para que el peso resultante sea el menor posible. También se aprovecha esta operación para recortar la admisión interior de forma cónica para que la entrada de aire desde el cuerpo hacia el motor sea más fluida (figura 12).

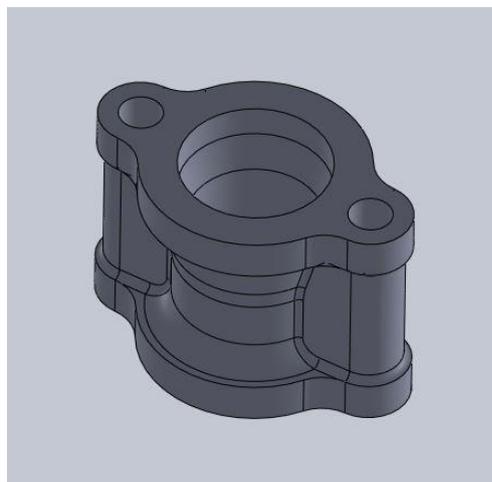


Figura 12: Captura SolidWorks Cuerpo de inyección 2

El siguiente paso es diseñar el sitio en el que introducir el inyector en el cuerpo de inyección. Para esto lo primero es elegir el inyector que se va a utilizar. No se trata de un tema trivial, ya que los proveedores de inyectores no disponen de medidas para motores tan pequeños como el que nos ocupa. Después de múltiples contactos con numerosos proveedores se encontró la empresa Liuzhou, un fabricante chino que dispone de un inyector de 30 centímetros cúbicos (figura 13), mucho más adecuado para nuestro motor de 32cc que uno de motocicleta de 49cc, mucho más común.



Figura 13: Inyector MEV1-030-A

Teniendo claras ahora las dimensiones del inyector es simple diseñar la cavidad en la que se alojará. (figura 14).

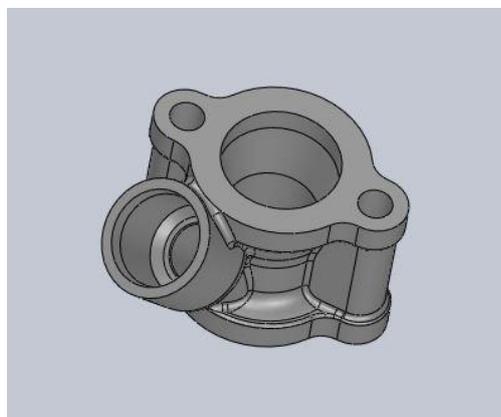


Figura 14: Captura SolidWorks Cuerpo de inyección 3

Una vez realizada la cavidad, se debe pensar cómo anclar el inyector al cuerpo. Para ello se añaden un saliente donde introducir un tornillo (figura 15) pasando después a diseñar un puente donde introducir la parte superior del inyector.

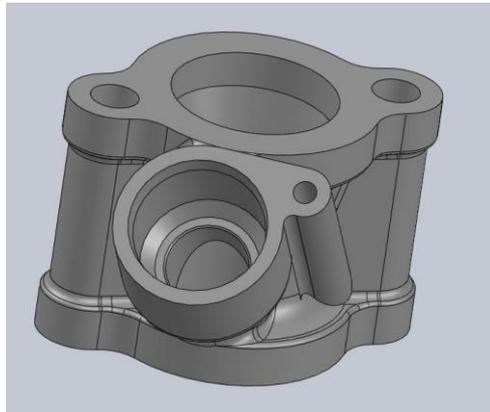


Figura 15: Captura SolidWorks Cuerpo de inyección 4

El siguiente paso consiste en integrar el servomotor que va a comandar la mariposa del cuerpo. Se va a utilizar el mismo del que disponía el carburador, el Savox SH-0257MG (figura 16). Se va a ejecutar con un ensamblaje con otra pieza donde irá atornillado el servo para simplificar el montaje y abaratar los costes de fabricación. También se hacen los alojamientos para los rodamientos del eje de la mariposa, así como la apertura para introducir dicho eje.

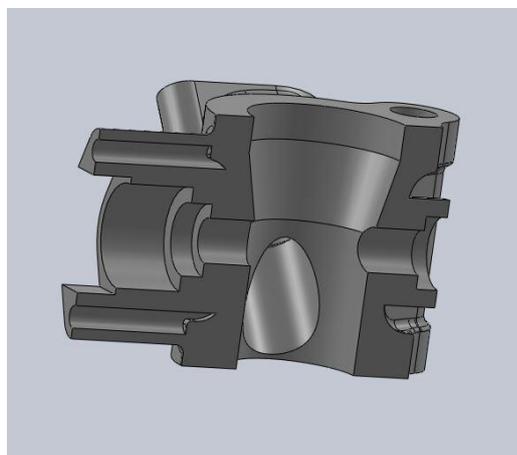


Figura 16: Captura SolidWorks Cuerpo de inyección 5

Con esto se da por concluido el diseño del elemento principal del cuerpo de inyección faltando solamente diseñar el puente que sujeta el inyector (figura 17), teniendo en cuenta que debe de integrarse una junta tórica para que no se produzcan fugas de combustible, dado que esa zona se encontrará presurizada una vez se implemente el sistema.

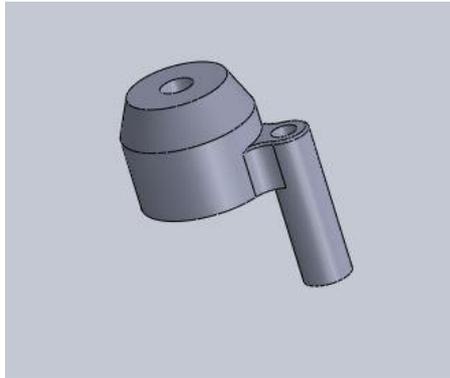


Figura 17: Captura SolidWorks puente del inyector

A continuación, se diseña con las medidas básicas del servo la pieza a la que se sujeta, así como la sujeción de ésta al cuerpo principal (figura 18).

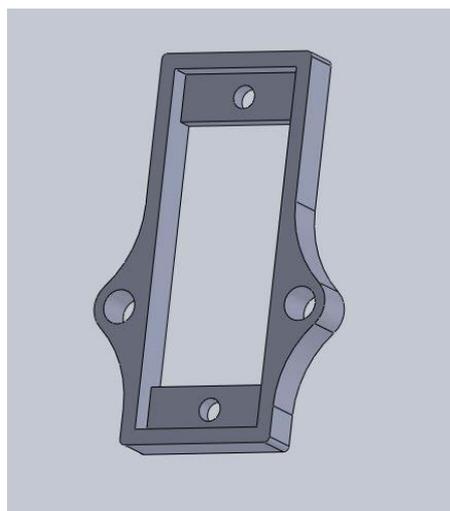


Figura 18: Captura SolidWorks Anclaje de servomotor

Ahora se diseña el único elemento móvil del sistema, la mariposa que abre y cierra la

entrada de aire. Para facilitar el montaje se va a diseñar en 2 piezas, un eje (figura 19), y el plato de la mariposa (figura 20).

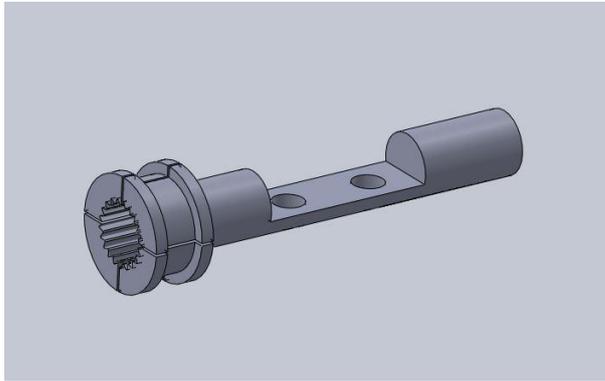


Figura 19: Eje de la mariposa

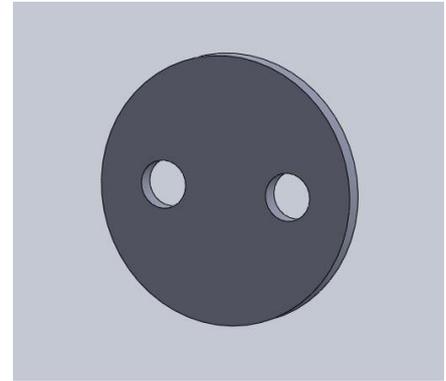


Figura 20: Mariposa

Como última parte faltaría diseñar la tobera de admisión donde irá anclado el filtro de aire (figura 21). Se va a utilizar un filtro de aire Twin-Air original para un motor de radiocontrol como el que nos ocupa, con una apertura de 40 mm por lo que con esta medida ya se puede diseñar la tobera.

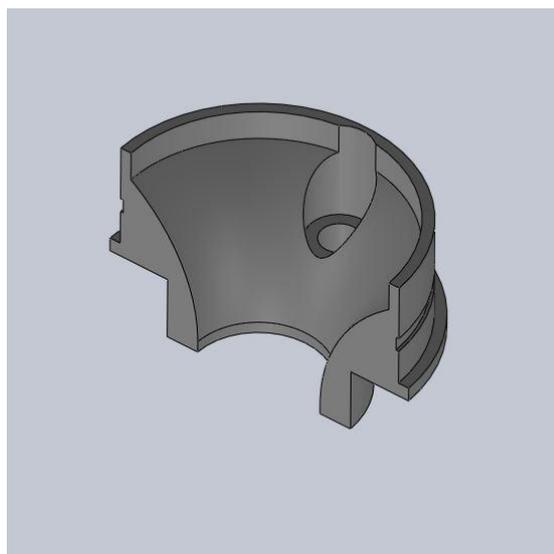


Figura 21: Captura SolidWorks tobera de admisión

Terminadas todas las piezas se procede a ensamblarlas para comprobar que todo se ha diseñado correctamente y encajan entre sí (figura 22), introduciendo también los elementos externos que intervienen. Se han utilizado diferentes colores para vislumbrar mejor los diferentes componentes.

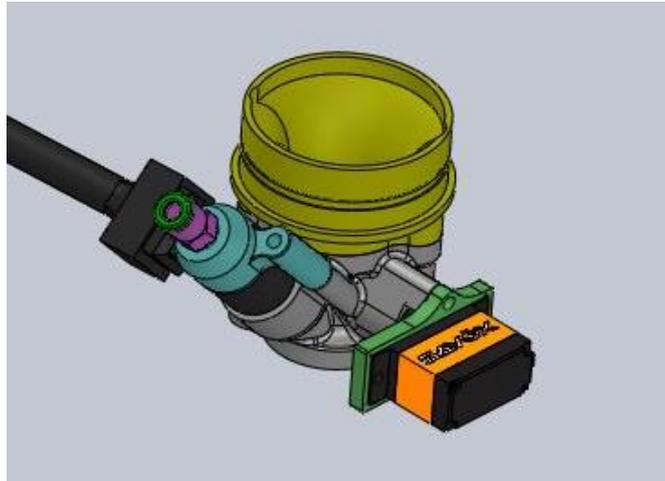


Figura 22: Captura SolidWorks cuerpo de inyección completo

Tras revisar el diseño se decide producir un prototipo. Para ello se contacta con un proveedor de mecanizados de China (Honvision) al cual se le proporcionan los planos y se le solicita un presupuesto. Se decide que realice el mecanizado (figura 23), con la excepción de la tobera, cuyo precio parece demasiado alto con relación al resto del cuerpo, por lo que se decide imprimirla en 3D.

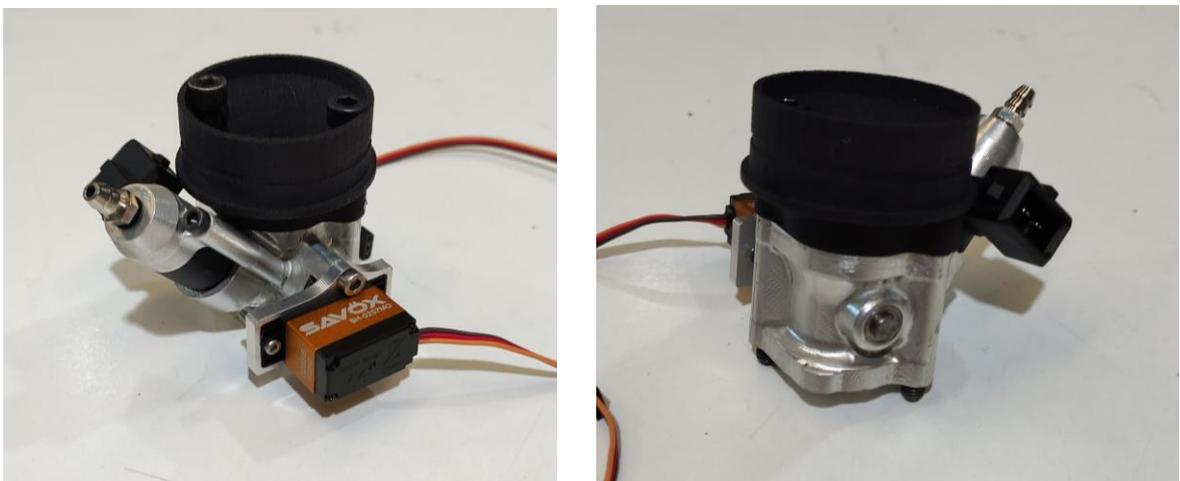


Figura 23: Cuerpo de inyección mecanizado en CNC

Tras el montaje y previamente a las pruebas del cuerpo en el motor, se detectan una serie de fallos en el diseño, siendo el más grave una desalineación del inyector al encontrarse sujeto al cuerpo únicamente de un solo punto. Otro fallo grave es el anclaje del servo que permite el movimiento de este, fallo que sería catastrófico ante vibraciones propias de un motor en funcionamiento. Sumando a esto la dificultad de montar la mariposa al eje y su alto precio para la producción en masa, se decide volver a la mesa de diseño, planteando la posibilidad de fabricarlo en otro material y con otros procesos de fabricación.

Por lo tanto, los cambios que se proponen son: una unión con dos tornillos para el inyector, un anclaje en 4 puntos para el servo, así como la adición de un puente que lo asegure al cuerpo. Otro punto es la fabricación de la mariposa en una sola pieza, facilitando así el montaje.

Empezando con el cambio que más afecta al cuerpo, diseñamos la mariposa (figura 24) en una sola pieza que va anclada al servo y a un rodamiento en el otro extremo.

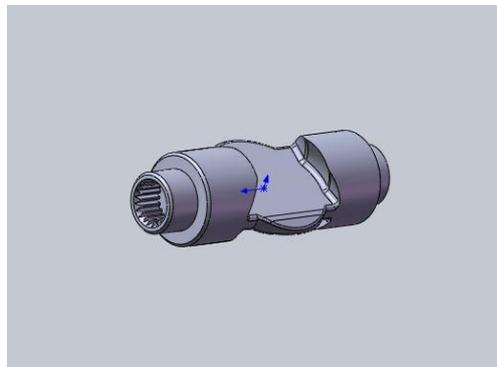


Figura 24: Rediseño de la mariposa

Para poder introducir ésta en el cuerpo se debe aumentar la apertura lateral que posteriormente se tapaná por otra pieza (figura 25) donde también se anclaran tanto el servo como el puente (figura 26).

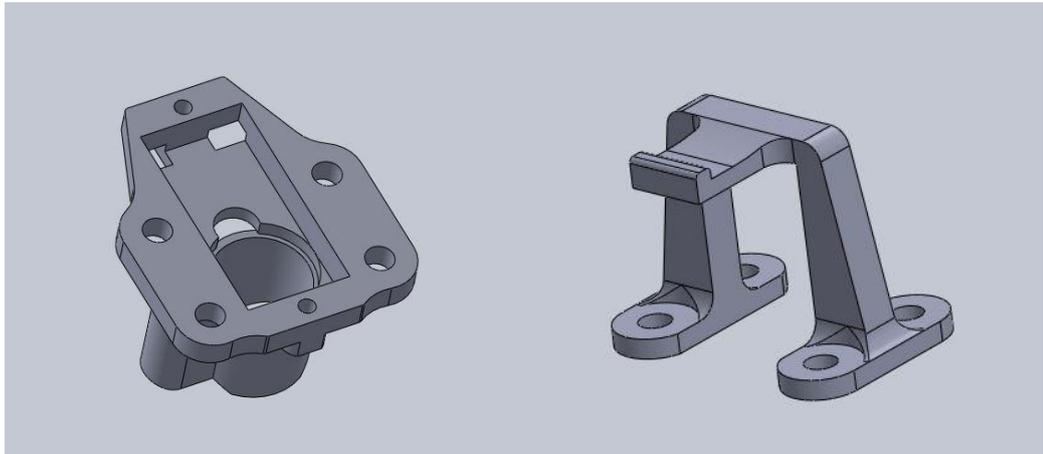


Figura 25: Anclaje de servomotor

Figura 26: Puente del servomotor

Por último, al anclaje del servo simplemente se le introduce una simetría para que disponga de dos puntos de apoyo (figura 27).

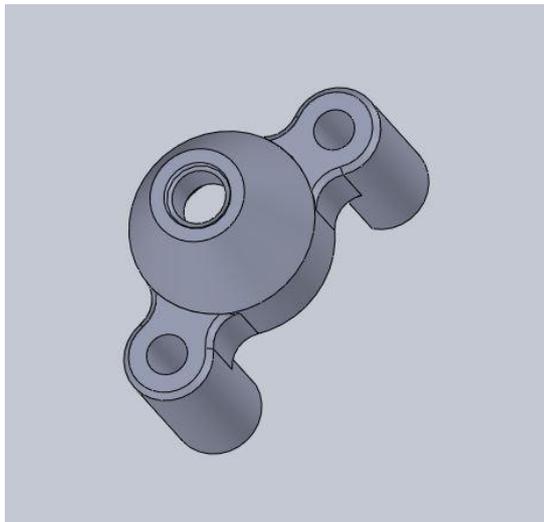


Figura 27: Rediseño del puente del inyector

Juntando en un ensamblaje (figura 28) todos los nuevos componentes se obtiene el diseño final completo.

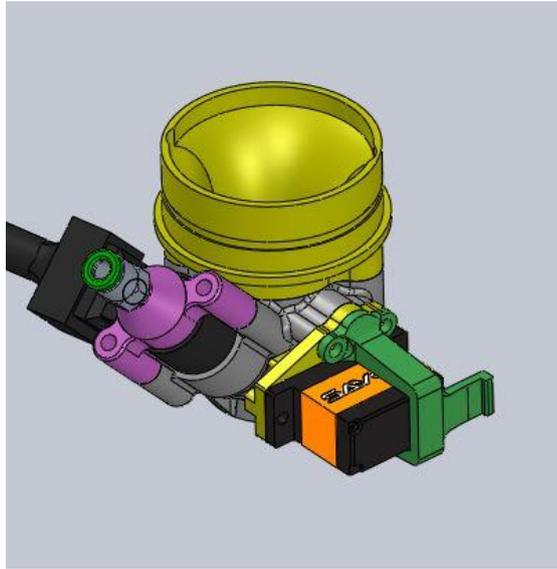


Figura 28: Rediseño del cuerpo de inyección completo

3.1.3.- Fabricación

Una vez realizado el primer cuerpo de inyección en aluminio, como ya se vio en el anterior capítulo, se decidió que no era la manera óptima de fabricarlo para la producción en serie, por lo que se deben estudiar nuevas formas y materiales.

Ya para el primer cuerpo de inyección se decidió imprimir en 3D la parte de la tobera de la entrada de aire, por lo que se decide a fabricar un prototipo con la impresora 3D de la que dispone la empresa en la que está desarrollando este proyecto. Se trata de una Creality Ender 3 Pro, una impresora 3D por deposición de material. No es una impresora especialmente diseñada para uso industrial, sino más bien para el gran público, por lo que su manejo requiere de poca formación. Un simple proceso de conversión de los archivos generados por el programa de diseño nos permite proceder a su impresión. Se utiliza el software gratuito Cura de la empresa Ultimaker para la laminación de los archivos y la generación de gcode.

Otro elemento primordial para el éxito de este proceso de fabricación es la elección del material con el que se va a imprimir. En la impresión 3D por deposición de material, el más utilizado es el PLA (Poliácido láctico), pero tras una revisión rápida de sus características mecánicas se ve que se trata de un material que aumenta significativamente su plasticidad a

partir de los 60°C. Esto lo hace inútil para atornillarlo a un motor de combustión dado que las temperaturas que se alcanzan son significativamente superiores. Buscando materiales que mejoren esta característica se encuentran dos, el PET-G y el ABS.

El ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno) tiene unas propiedades mecánicas que encajan con las que se necesitan para la fabricación del cuerpo de inyección (resistencia a la temperatura y durabilidad, entre otras) pero para fabricarlo se necesita un ambiente aislado para la impresora ya que la calidad de la fabricación con este material se puede ver altamente perjudicada por factores externos como cambios de temperatura originados por corrientes de aire. Se produce entonces lo que se conoce como “warping”, una contracción del material debida a un cambio de temperatura y que lo despega de la base de impresión. Así que, por la facilidad de impresión, aunque no cuente con las mismas características mecánicas, se decide usar el PET-G (Tereftalato de polietileno glicol).

El PET-G cuenta con una temperatura de deformación superior a los 85°C por lo que es aceptable para el prototipo, aunque habrá que realizar pruebas en el motor para contrastar si efectivamente soporta la temperatura de trabajo.

Se procesan los diseños con el laminador Cura (figura 29), donde se realizan varias impresiones modificando parámetros como la altura de capa y la densidad de relleno entre otras, para conseguir la mejor calidad de impresión posible

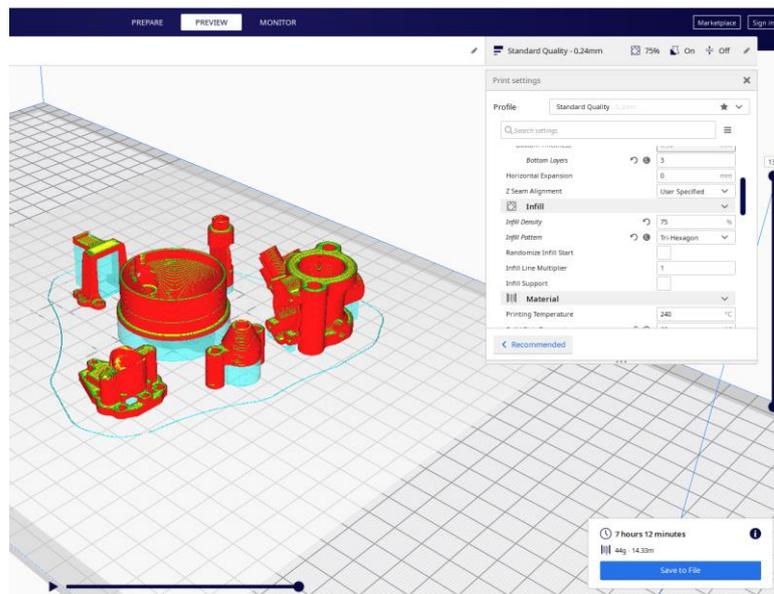


Figura 29: Captura de programa de laminado Cura

Una vez hechas las pruebas de impresión se determina que la mejor altura de capa es de 0,24 mm con un relleno del 100%. Con todas las piezas impresas se procede a realizar el montaje.

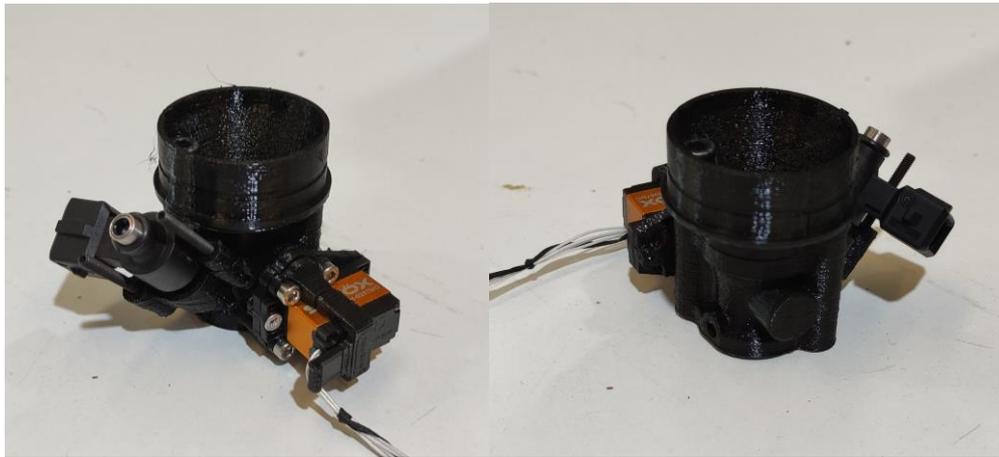


Figura 30: Cuerpo de inyección impreso en 3D

Como se puede apreciar en la figura 30 la calidad de la impresión tras diversas pruebas es pésima, por lo que se descarta la fabricación con la impresora 3D por deposición de material y se debe buscar de nuevo otro tipo de fabricación.

Tras investigar diversos métodos mediante impresoras 3D se descubren dos tecnologías que se adaptan a las necesidades de este proyecto, tanto por facilidad de impresión, precio, y sobre todo por las cualidades del material utilizado: Selective Laser Sintering (SLS) y Multi Jet Fusion (MJF). En ambas es utilizado el Nylon 12, una poliamida muy elástica y resistente ampliamente usado en la industria dada la facilidad de mecanizado que posee. La cualidad que más interesa para este proyecto es que aguanta temperaturas de hasta 160° C, muy superiores a, como ya se ha visto, la solución anterior (PET-G). En cuanto a la tecnología de impresión, ambas son muy parecidas, aunque las piezas realizadas en MJF disponen de mayor resistencia a tensión en la dirección del eje Z de la fabricación. Al no existir diferencia significativa en el precio se decide usar esta tecnología.

Al no disponer de una impresora con ninguna de estas tecnologías, es necesario buscar

un proveedor que pueda fabricar estas piezas. Tras una búsqueda en internet encontramos un servicio de impresión en 3D (i.materialise) que al enviarle los archivos de diseño en formato .stl nos entrega un presupuesto. Dado que el precio se encuentra muy por debajo del prototipo en aluminio se decide encargarles la fabricación.

Ya que las tolerancias dimensionales más críticas se encuentran en la mariposa y en la tapa del inyector dado que aquí la junta tórica debe aguantar la presión de combustible, se decide encargarle su fabricación al mismo servicio. Usando para ello la técnica de estereolitografía (SLA), que utiliza resina y rayos UV para endurecerla, con una tolerancia de una décima de milímetro.

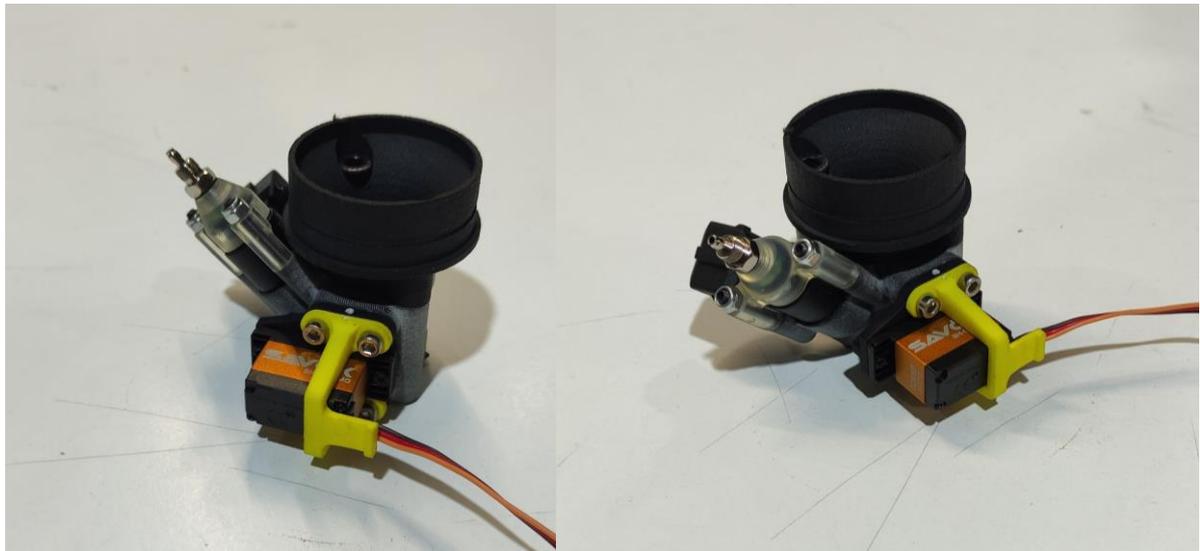


Figura 31: Cuerpo de inyección impreso en SLS

En la figura 31 se muestra el conjunto que funciona de manera correcta para poder probarlo en el motor, aunque aparece un problema en la tapa del inyector. Al apretarlo de manera que la junta tórica tenga el suficiente apriete, la pieza no resiste y se parte, por lo que se decide encargarla en aluminio para terminar de manera satisfactoria este prototipo.



Figura 32: Tapa del inyector mecanizada en aluminio

Con esta última actualización (figura 32) se da por concluido el desarrollo del diseño del cuerpo de inyección. A partir de este punto comienzan las pruebas y la caracterización de su rendimiento como pasos siguientes del proyecto.

Capítulo 4: BOMBAS DE GASOLINA

En este capítulo vamos a hablar sobre el desarrollo del sistema presurizado de alimentación de combustible que utilizaremos en el proyecto.

A diferencia de los sistemas de carburación, en los cuerpos de inyección se requiere una alta presión para la correcta vaporización del combustible. Por ello es necesario introducir un elemento que eleve la presión del circuito hasta el punto óptimo de funcionamiento.

4.1.- Bomba de engranajes

Inicialmente, cuando se pensó en qué dispositivo encajaría en nuestro sistema, se determinó que debía ser un elemento ligero y que a la vez alcanzase el requerimiento de presión mínima necesario (3 Bar). También debía funcionar con una corriente que pudiera ser entregada por la electrónica de que disponemos (1A y hasta 12V).

Con estos parámetros, tras una búsqueda entre los diversos proveedores, se ha encontrado una empresa austriaca (Hptech) que fabrica un modelo de bomba que cumple con todos los requerimientos, la ZP25M14F (figura 33), que pesa solamente 39 gr.

Tras montar esta bomba en un banco de pruebas se comprueba que funciona de manera no lineal dado que cuando la bomba es nueva entrega 4 Bar y conforme transcurren los ciclos de prueba la presión entregada va disminuyendo aleatoriamente, lo que hace que este elemento, por sí solo, no garantice la posibilidad de homogeneizar la producción en serie.



Figura 33: Bomba Hptech ZP25M14F

4.2.- Regulador de presión

Para solventar este problema se estudió cómo funcionan los motores de combustión interna alternativos alimentados por inyección de otros sectores como la automoción, donde utilizan un regulador de presión para limitarla, retornando el sobrante del caudal al depósito de combustible. Esto permite que, con independencia de la presión máxima generada por la bomba, y siempre que ésta alcance el mínimo necesario, se garantice la presión requerida en el suministro de combustible.

El modelo elegido es el mismo usado en el famoso coche híbrido Toyota Prius (figura 34), el cual nos garantiza una presión de salida de 3 Bar. Para poder utilizar este regulador, que se encuentra originariamente dentro del depósito de combustible, ha sido necesario diseñar un casquillo con conductos de entrada, salida y retorno.

La fabricación se le ha encargado a un proveedor chino de mecanizados (GLCNC-PRO) realizándose en aluminio con acabado en anodizado negro (figura 35). Para sujetar el regulador al casquillo se ha fabricado una pieza recortando una lámina de fibra de vidrio de 2 mm. de espesor en nuestra cortadora CNC.

Tras poner a prueba el regulador se comprueba que su funcionamiento es correcto, pero las bombas siguen fallando, bajando de 3 Bar de presión tras una media de 60 horas. Tiempo insuficiente para los requerimientos generales del dron en el cual se va a instalar.

Finalmente se decide descartar todo el sistema de presurización y buscar una nueva solución.



Figura 34: Regulador de presión Figura 35: Casquillo del regulador

4.3.- Bomba trifásica “brushless”

Tras fijarnos de nuevo en la industria de la automoción se descubre que la empresa de motocicletas Yamaha utiliza para ciertos modelos de baja cilindrada una pequeña bomba trifásica que cumple con los requerimientos de nuestro proyecto.

Para poder utilizar este tipo de bomba es necesario un variador de frecuencia que controle la potencia introducida en cada fase de los bobinados del rotor. Para ello utilizamos un ESC (Electronic Speed Controller) de la marca Emax (figura 36) usado para controlar los motores de pequeños drones de carreras. Actuando sobre el firmware del variador, podemos regular la presión de salida del combustible.

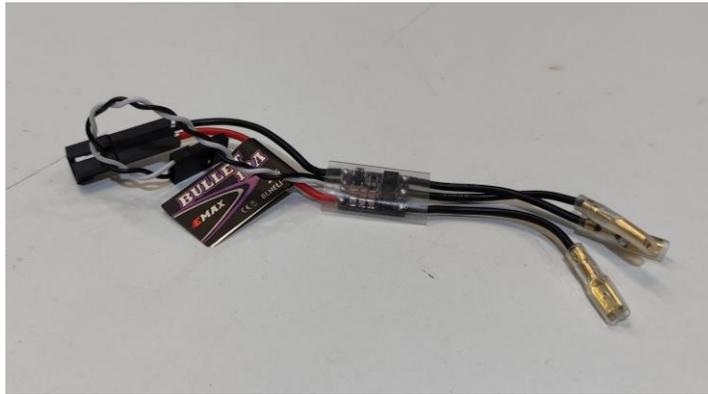


Figura 36: Variador de frecuencia EMAX

Otra modificación necesaria para poder utilizar esta bomba es el diseño y fabricación de un alojamiento para la misma, ya que está diseñada para trabajar sumergida dentro del depósito de combustible. Este alojamiento consta de dos piezas atornilladas dentro de las que se posiciona la bomba sujeta por dos juntas tóricas que garantizan la estanqueidad (figura 37).

Al comenzar las pruebas se constató que, al tratarse de una bomba con rotor centrípeto, no lograba expulsar el aire de su interior de manera autónoma, por lo que había que realizar un purgado manual. Lo que llevó a descartar esta opción por la dificultad que implica su utilización habitual por parte de los usuarios finales.



Figura 37: Bomba sin escobillas y su correspondiente casquillo

4.4.- Regulador electrónico de presión

Tras analizar los fallos encontrados en la bomba de engranajes, se llegó a la conclusión de que el regulador mecánico de presión estaba limitando la presión de salida, pero no la presión entregada por la bomba. Se decide entonces que, si se utiliza un sensor de presión y un control PID, se puede ajustar la alimentación de corriente a la bomba para obtener la presión necesaria, minimizando el esfuerzo de esta y aumentando así las horas de funcionamiento.

Para la introducción del control PID es necesario un microcontrolador, y en la búsqueda de elementos livianos encontramos el Seeeduino XIAO. Este nos permite gestionar a través de sus salidas digitales un PWM para la alimentación de la bomba. También se conecta a este microcontrolador, a través de sus entradas analógicas, un sensor de presión (MPX5700DP) para comandar en todo momento la presión necesaria. Todo esto se introduce en un termo retráctil para aislarlo de posibles contactos con elementos metálicos (figura 38).

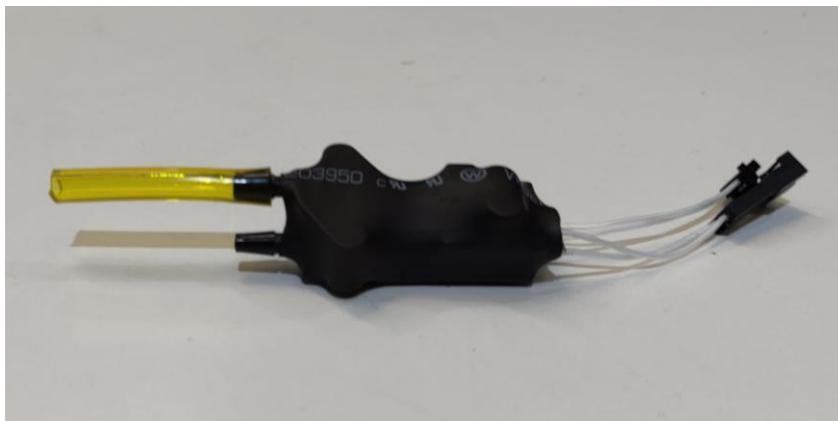


Figura 38: Regulador de presión en condiciones de uso

4.5.- Programación del microcontrolador

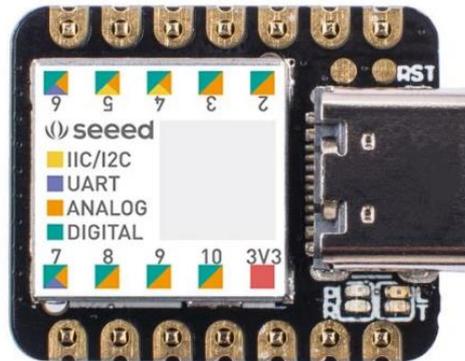


Figura 39: Seeeduino XIAO

Como se indicó en el apartado anterior, el microcontrolador es el Seeeduino XIAO (figura 39), una placa compatible con Arduino y que proporciona una gran facilidad de programación. Funciona a 3,3V por lo que también es necesario incorporar al sistema un DC/DC para reducir el voltaje de alimentación que proporciona la ECU. Dispone de 14 pines GPIO, destacando 1 I2C, 1 UART, un SPI y el pin 0 dispone de función DAC.

La programación se realiza a través del IDE (Integrated development environment) de Arduino, que utiliza un lenguaje de programación dialecto del C++. El código se encuentra en su totalidad en el anexo 1.

Cabe destacar que para facilitar la programación se utiliza una librería que implementa de manera sencilla los parámetros de control del PID.

Se usa una entrada analógica para la toma de datos de voltaje del sensor y se actúa sobre una salida analógica para el control del voltaje de la bomba a través de un transistor MOSFET.

Al probar por primera vez el programa, y en concreto el sensor, se comprueba que no marca la presión correcta en condiciones estacionarias por lo que se introduce un offset en el programa para asegurar la precisión de las medidas.

Una vez montado en conjunto el sistema, se procede a realizar las pruebas preliminares sin el PID en funcionamiento. Tras comprobar que el sistema funciona

correctamente, se comienza a sintonizar el controlador PID mediante el método de Zieger-Nichols, consistente en calibrar los diferentes parámetros de forma empírica visualizando como responde el sistema a una entrada en escalón.

Tras numerosas pruebas en donde el sistema tiende a sobreoscilar se obtiene que la respuesta más adecuada para este proyecto es la que se genera con un controlador que no presenta ni parte integral ni derivativa, con una constante de proporcionalidad de 10.

Tras numerosas pruebas en donde el sistema tiende a sobreoscilar, se comprueba que la respuesta más adecuada para este proyecto es la que se genera con un controlador que no presenta ni parte integral ni derivativa, con una constante de proporcionalidad de 10.

Capítulo 5: ELECTRÓNICA

Todo este proyecto se ha desarrollado en colaboración con el departamento de ingeniería electrónica de la empresa Quaternium, quienes han desarrollado el sistema electrónico que he pasado a integrar dentro del sistema general del motor.

En este apartado se van a detallar todos los elementos de este sistema electrónico, así como las medidas adoptadas para su correcta integración y funcionamiento.

5.1.- Engine Control Unit (ECU)

Este elemento constituye la unidad de computación que recopila la información proveniente de los diferentes sensores, la procesa y genera una respuesta que se ejecuta a través de diferentes actuadores.

Para realizar este cometido se ha usado una ECU “open source” llamada MegaSquirt, utilizada habitualmente en el mundo de los coches de competición. Se ha modificado reduciendo al mínimo el tamaño de la placa base buscando una sensible reducción de peso (figura 40).

El montaje de esta placa en el bastidor del dron hizo necesario el diseño y fabricación de una carcasa de aluminio dentro de la cual se alojó.



Figura 40: ECU con y sin su correspondiente carcasa

5.2.- Cableado

La forma de conectar todos los elementos del sistema es a través de un cableado diseñado específicamente para este desarrollo (figura 41) que cuenta con los conectores necesarios, entre ellos el de la ECU el del Governor y diversos elementos del cuerpo de inyección.

Para aumentar la fiabilidad del sistema se utiliza cable de PTFE con especificaciones similares a los que se utilizan en sistemas satelitales y militares.



Figura 41: Cableado

5.3.- Governor

Este elemento consta de una placa de desarrollo propio sobre la que se montan diversos elementos con el objetivo de controlar todos los sistemas electrónicos pertenecientes al dron (figura 42).

La función más significativa para este proyecto es la gestión del acelerador que se desarrolla cuando se vuela en modo automático y que nos permite adecuar la corriente generada por el extensor de rango a las solicitudes de energía demandadas por el dron en las diferentes condiciones de vuelo.



Figura 42: Governor

El cálculo que este elemento realiza se basa en el consumo momentáneo de los cuatro motores eléctricos que propulsan al dron, así como en la capacidad disponible en las baterías medida por los amperímetros montados en esta misma placa. Esta medida es procesada, y a través de un PID se genera una acción de control sobre el acelerador.

El cálculo que este elemento realiza se basa en el consumo momentáneo de los cuatro motores eléctricos que propulsan al dron, así como en la capacidad disponible en las baterías medida por los amperímetros montados en esta misma placa. Estos datos son procesados, generándose una acción de control sobre el acelerador a través de un PID.

Capítulo 6: CARBURACIÓN

Como ya se ha explicado al principio de esta memoria, el factor diferencial buscado con este proyecto es la sustitución del carburador por un sistema de inyección indirecta de combustible.

La gestión de la cantidad de combustible en un carburador se realiza a través del tamaño del conducto que introduce el combustible en la tobera de admisión (chiclé). Este método solo nos permite modificar la carburación sustituyendo manualmente dicho chiclé, por lo que en marcha no es posible esta regulación.

Sin embargo, la inyección electrónica comanda el inyector, el cual está formado básicamente por una bobina que al recibir un pulso eléctrico abre el paso de carburante. Con este método se es capaz de regular la cantidad de combustible independientemente de las revoluciones y de la apertura de la mariposa de admisión (% TPS).

Como se ve en el apartado anterior el encargado de generar estos pulsos es la ECU, pero para controlarlos es necesario que la ECU lea una serie de datos preestablecidos que indican los milisegundos deseados de inyección en cada uno de los puntos en los que se puede encontrar trabajando el motor.

Esta serie de datos toma la forma de un mapa tridimensional que tiene como eje de ordenadas las revoluciones del motor, como eje de abscisas el porcentaje de apertura de la mariposa de admisión, y como eje de cotas el parámetro sobre el que actuaremos para controlar la carburación.

Para calcular los milisegundos de inyección deseados se utiliza el método Alpha-n, que calcula el gasto máximo de aire con datos como: cilindrada del motor, revoluciones, %TPS y el parámetro sobre el que actuamos en el mapa de inyección.

Sobre este método se pueden incorporar correcciones a partir de sensores de temperatura y presión barométrica.

Para gestionar este mapa de inyección se utiliza el software propio de la centralita MegaSquirt, denominado Tuner Studio.

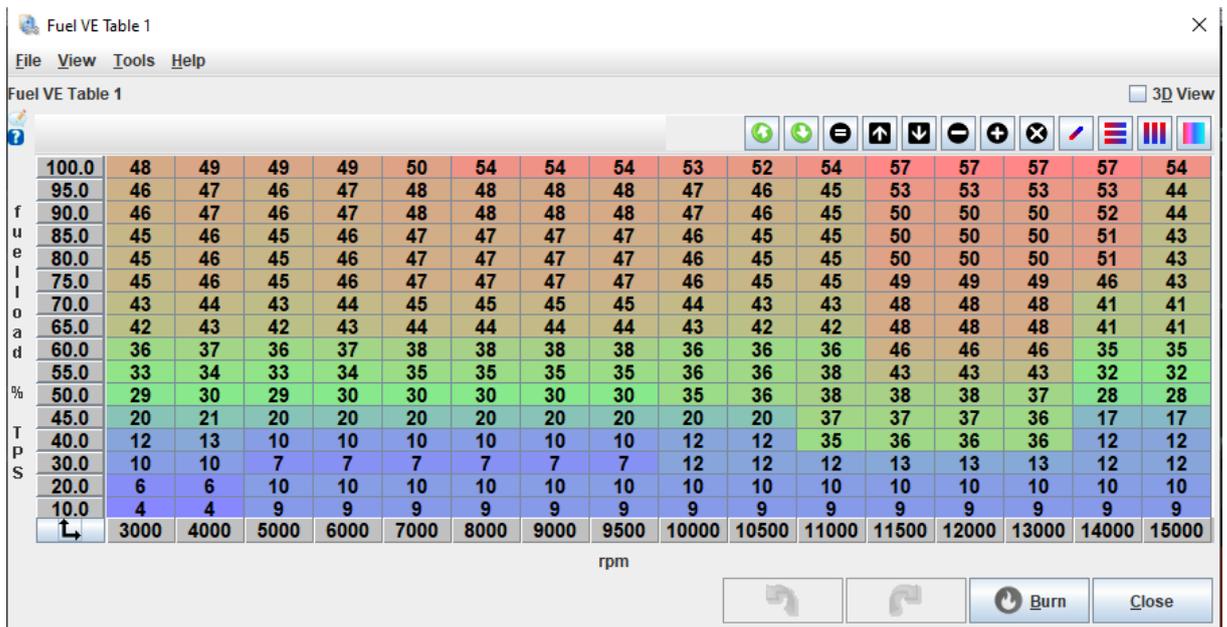


Figura 43: Mapa de inyección

En la figura 43 se aprecia el mapa que lee la centralita en cada punto para determinar la cantidad de gasolina que será inyectada.

Para realizar la calibración de este mapa se ha utilizado una sonda lambda adherida a la salida del escape, lo que permite determinar en cada momento el dosado relativo para saber si en ese punto del mapa se está trabajando con exceso o falta de gasolina. Tras este proceso obtuvimos el mapa de la figura 43.

Capítulo 7: PRUEBAS

7.1.- Test de rendimiento

Para comprobar la diferencia de rendimiento entre el extensor de rango del que se partía al inicio de este proyecto y la solución que se ha desarrollado a lo largo de este trabajo, se han realizado una serie de pruebas entre ambas configuraciones para dilucidar si se ha conseguido la mejora de rendimiento deseada.

Esta prueba consta de dos partes. En la primera se probará la potencia desarrollada en ambos casos a través de la corriente generada en el estator para así realizar los cálculos de la potencia generada. En la segunda prueba se probará el consumo de combustible en varios puntos de funcionamiento simulando condiciones de vuelo real.

Motor	% TPS	Corriente (A)	Voltaje (V)	RPM	Potencia eléctrica (W)	Tª Culata (°C)
EFI	100%	54,2	48	13275	2601,6	235
Carburador	100%	47,7	48	-	2289,6	-
EFI	100%	54,3	48	13300	2606,4	238
Carburador	100%	47,5	48	-	2280	-
EFI	100%	54,1	48	13250	2596,8	234
Carburador	100%	47,8	48	-	2294,4	-

Tabla 1: Test de potencia

Como se puede apreciar en la tabla 7.1.1, la potencia que se genera con la inyección electrónica es superior en todas las pruebas realizadas. Cabe destacar que tanto las revoluciones como la temperatura del motor se miden a través de la ECU por lo que para el carburador no se encuentran disponibles.

	Potencia Eléctrica (W)	Mejora
EFI	2601,6	12,05%
Carburador	2288	

Tabla 2: Media de potencia

Tras realizar la media de los resultados de las pruebas, se contrasta que la mejora tras la implementación de la inyección es de aproximadamente un 12 por ciento como se ve en la tabla 7.1.2. Por último, en la realización de esta prueba se ha determinado que no es seguro mantener la potencia máxima dado que la temperatura alcanzada hace peligrar la integridad del motor. Esta medición únicamente se podía intuir antes de la introducción del sensor de temperatura.

En cuanto a la prueba de consumo, se ha diseñado una prueba que consuma energía eléctrica sustituyendo los motores eléctricos por resistencias que se van sumando para simular situaciones de vuelo con diferentes cargas, como se aprecia en la figura 44 que indica la corriente requerida, así como la generada por el rotor.



Figura 44: Ejemplo de prueba de consumo

Consumo eléctrico (A)	15	23	35	41	50
EFI (l/hr)	0,9	1,1	1,4	1,8	3,2
Carburador (l/hr)	1,1	1,5	2	3	3,4

Tabla 3: Comparación de consumo

En la tabla 7.1.4 se ve claramente que en la zona de mayor y menor carga la diferencia de consumo es prácticamente nula. Esto se debe a que el carburador tiene 2 circuitos, coloquialmente llamados de alta y de bajas, sobre los que se puede actuar para carburar correctamente el motor. Sin embargo, en el resto del registro la diferencia se hace más notable.

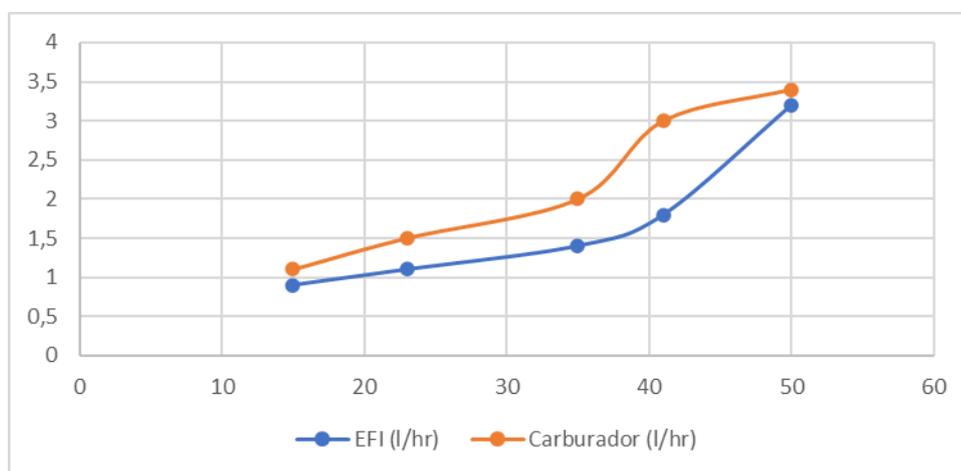


Figura 45: Gráfica de consumo

En la figura 7.1.5 se ve la irregularidad de la que se ha hablado anteriormente, y en la zona media, donde se producen la mayoría de vuelos, se reduce el consumo con la inyección hasta un 40%, con una reducción media de aproximadamente un 24%.

7.2.- Test de fiabilidad

Tras determinar que en cuanto a rendimiento se ha conseguido y superado con creces el objetivo propuesto al comienzo del proyecto, el último gran obstáculo al que hay que enfrentarse para validar nuestro sistema, es la fiabilidad.

Para realizar esta prueba hemos utilizado una serie de resistencias que permitirán simular el consumo de los motores de propulsión en situaciones de vuelo. Con esto se logra mantener el extensor de rango en un régimen de revoluciones similar al que se encontraría en una situación real.

El test se ha diseñado para mantener el motor en funcionamiento de manera discontinua hasta alcanzar el objetivo de 250 horas en tramos de unas 8 horas diarias. Durante este tiempo se ha monitorizado una serie de parámetros que han permitido visualizar su funcionamiento. De esta forma se han podido detectar una serie de problemas surgidos a lo largo de este ensayo.

Los parámetros a considerar han sido: La temperatura de la sala, que se considera como la temperatura de admisión del aire, la temperatura de la culata, el porcentaje de apertura del gas (TPS), las revoluciones por minuto, la corriente generada, la presión de inyección y el ajuste global de gasolina del mapa.

Tras verificar que después de 250 horas de funcionamiento solo ha sufrido problemas leves y que no ha sido necesario cambiar piezas internas del motor, se decide alargar el test hasta que se produjera un fallo catastrófico como sucedía con el sistema de carburación, aunque en dicho caso, este fallo se producía antes de las 200 horas de funcionamiento.

La prueba se decide finalizar tras 440 horas y 39 minutos de funcionamiento y sin ningún fallo catastrófico. Este dato se considera tiempo más que suficiente para el objetivo de este test, considerándose validado, por tanto, también se validan el cuerpo de inyección y la bomba de gasolina.

Capítulo 8: CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos en las pruebas se puede determinar que se han conseguido todos los objetivos de este proyecto, no solo por cumplir con los requisitos de rendimiento y consumo, si no por hacerlo con una fiabilidad superior a la del propio producto comercial que es el motor con la configuración de carburador.

Bien es cierto que se han enfrentado diferentes adversidades, sobre todo en la fase de fabricación del cuerpo de inyección, pero finalmente se han solventado de una manera fiable y relativamente económica.

Tras la conclusión del proyecto cabe destacar que gracias a estas mejoras se consiguió realizar un vuelo el 23 de octubre de 2020, junto al equipo de Quaternium, de 10 horas y 14 minutos, batiendo en más de 2 horas el récord de horas de vuelo realizadas por un dron, también en posesión del mismo híbrido, pero sin el sistema que hemos desarrollado en este proyecto.

Este proyecto sienta unas bases para el desarrollo de un sistema que, pese a los resultados obtenidos, tiene ciertos puntos de mejora, como por ejemplo la repetibilidad del sistema, ya que dista mucho en cuanto a funcionamiento de una unidad a otra debido principalmente a la dispersión de las medidas en los cuerpos de inyección, por lo que ni el cierre de la válvula ni el paso de aire son iguales.

Lo cierto es que los resultados finales son muy gratificantes ya que se ha obtenido un sistema con mayor fiabilidad y más barato que el de la competencia en el sector.

Capítulo 9: BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- Motocicletas – Puesta a punto de motores de 2 tiempos. John C. Robinson
- 2.- Análisis del proceso de barrido en motores de dos tiempos de pequeña cilindrada. José Pastor.
- 3.- El bran libro de SOLIDWORKS 3ª Edición. Sergio Gómez González.
- 4.- The 3D Printing Handbook. 3D Hubs.

DOCUMENTO 2: ANEXOS

Anexo 1: Programa en C++ para el PID de la bomba

```
#include <AutoPID.h>

//PINS
#define INPUT_PRESSURE_SENSOR A0
#define OUTPUT_EN_FUEL_PUMP A10

//PRESSURE SENSOR
/*Sensor: MPX5700DP → Upperlimit = 7 [bar]
http://www.farnell.com/datasheets/2291495.pdf
This sensor is recommended to use at VDD = 5 [V]
Our uC (Seeeduino XIAO) I/O works at 3.3 [V]
https://wiki.seeedstudio.com/Seeeduino-XIAO/
In this case, the sensor also works at 3.3 [V]
So the sensibility change in this range
Sensitivity of the sensor -> VDD = 5 [V] = 6.4 [mV/KPa]
VDD = 3.3 [V] = 6.4 · 3.3 / 5 = 4.224 [mV/KPa]

PRESSURE CALCULATIONS
(VDD = 3.3 [V]) (12 bits ADC : (int)Range I/O [0 - 4095])
PRESSURE [bar] · 100 [KPa / bar] = PRESSURE [KPa]
PRESSURE [KPa] · SENSOR_SENSITIVITY [mV]/[KPa] = PRESSURE [mV]
PRESSURE [mV] · ADC_MAX_VALUE / VDD [mV] = PRESSURE [ADC_VALUE]

CASE 1 -> (VDD = 3.3 [V]) (12 bits ADC : Range I/O [0 - 255])
SENSOR_SENSITIVITY = 4.224 [mV]/[KPa]
ADC_MAX_VALUE = 255
VDD = 3300 [mV]
1 [bar] -> 1 [bar] · 100 [KPa / bar] · 4.224 [mV/KPa] · 4095 / 3300 [mV] = 524.16 = 525
1.75 [bar] -> 1.75 [bar] · 100 [KPa / bar] · 4.224 [mV/KPa] · 4095 / 3300 [mV] = 918,75 = 919
2 [bar] = 524,16 · 2 = 1048,32 = 1049

OFFSET
0.37 [bar] = 524.16 · 0.37 = 193.94

*/
#define PRESSURE_SENSOR_OFFSET 193.4
#define PRESSURE_SENSOR_SENSITIVITY 4.224 // [mV]/[KPa]
#define PRESSURE_SETPOINT 1049.0

//PID SETTINGS AND GAINS
#define OUTPUT_MIN 0
#define OUTPUT_MAX 255
#define KP 10.0
```

```

#define KI 0.0
#define KD 0.0

double pressure, pressure_bar, setPoint, output,error;
AutoPID myPID(&pressure, &setPoint, &output, OUTPUT_MIN, OUTPUT_MAX, KP, KI,
KD);

void setup() {
// put your setup code here, to run once:
Serial.begin(9600);
analogReadResolution(12);
pinMode(INPUT_PRESSURE_SENSOR, INPUT);
pinMode(OUTPUT_EN_FUEL_PUMP, OUTPUT);
digitalWrite(INPUT_PRESSURE_SENSOR, 0);
digitalWrite(OUTPUT_EN_FUEL_PUMP, 1);
//if pressure is more than 0.2 [bar] below or above setpoint, OUTPUT will be set to min or
max respectively
myPID.setOutputRange(255, 0);
myPID.setBangBang(104.0);
//set PID update interval to 0.1ms
myPID.setTimeStep(0.1);
setPoint = PRESSURE_SETPOINT;
}

void loop() {
// put your main code here, to run repeatedly:
pressure = analogRead(INPUT_PRESSURE_SENSOR) - PRESSURE_SENSOR_OFFSET;
pressure_bar = pressure *3300.0 / (4095.0 * 4.224 *100.0);
myPID.run();
output = 1.0 - output;
analogWrite(OUTPUT_EN_FUEL_PUMP,output);
Serial.printf("Pressure: %0.2f [bar] | Error: %.2f\r\n", pressure_bar, output);
}

```

Anexo 2: Datos del test de durabilidad

Fecha	Temperatura Sala (°C)	Hora inicio	Hora final	Tiempo Total	% TPS*	RPM	Intensidad (A)	Temperatura Culata (°C)	Presión inyección (Bar)	Ajuste mapa**
22/06/2020	49	8:30	10:40	2:10:00	62	11350	36	210	2,8	2,5
	50	11:20	12:50	1:30:00	67	12100	43	200	2,8	2,5
	48	13:00	13:41	0:41:00	71	12150	43,2	196	2,8	2,5
	49	14:05	16:00	1:55:00	69	12100	43	200	2,8	2,5
23/06/2020	38	7:30	12:15	4:45:00	70	12100	43	180	2,8	2,5
	41	12:50	13:20	0:30:00	70	12300	43,8	180	2,8	2,5
	45	13:49	16:00	2:11:00	72	12200	43,3	197	2,8	2,5
25/06/2020	38	8:00	11:50	3:50:00	68	12050	42,8	173	2,8	2,5
	46	11:50	12:00	0:10:00	67	12100	42,4	202	2,8	2,5
	47	13:00	13:30	0:30:00	70	12100	42,6	205	2,8	2,5
	36	13:30	16:30	3:00:00	72	12000	42,3	178	2,8	2,5
26/06/2020	36	8:00	16:30	8:30:00	69	12200	42,8	166	2,8	2,5
	47	16:30	16:30	0:00:00	67	12150	42,5	200	2,8	2,5
29/06/2020	35	8:00	9:30	1:30:00	64	12150	41	191	2,8	2,5
	36	10:30	17:40	7:10:00	66	12050	41,7	191	2,8	2,5
30/06/2020	35	8:00	18:30	10:30:00	70	12100	42	180	2,8	2,5
1/07/2020	26	7:45	9:10	1:25:00	50	10500	22,1	135	2,8	2,5
	31	9:10	10:15	1:05:00	60	11200	33	160	2,8	2,5
	35	10:15	15:30	5:15:00	70	12300	43,4	193	2,8	2,5
	38	15:30	16:45	1:15:00	50	10600	23	152	2,8	2,5
	40	16:45	17:15	0:30:00	68	12200	42	195	2,8	2,5
2/07/2020	29	8:15	9:15	1:00:00	46	10500	23	142	2,8	2,5
	34	9:15	10:15	1:00:00	55	11200	33	167	2,8	2,5
	36	10:15	10:30	0:15:00	68	12100	42	187	2,8	2,5
	35	10:50	10:52	0:02:00	64	12150	42,3	200	2,8	2,5
	40	11:15	13:15	2:00:00	69	12250	42	199	2,8	2,5
	41	13:15	15:00	1:45:00	53	11400	33	179	2,8	2,5
	42	15:00	15:05	0:05:00	100	14500	50	217	2,8	2,5
	41	15:05	15:55	0:50:00	48	10750	25	160	2,8	2,5
	39	15:55	16:30	0:35:00	37	9500	3,5	152	2,8	2,5
3/07/2020	41	16:55	18:00	1:05:00	80	12300	42	192	2,8	2,5
	33	8:15	9:15	1:00:00	79	12000	43	177	2,8	2,5
	35	9:15	10:20	1:05:00	63	12300	44,6	192	2,8	2,5
	35	10:20	11:25	1:05:00	50	11300	32,8	172	2,8	2,5
	34	11:25	12:15	0:50:00	40	10600	23,1	157	2,8	2,5
6/07/2020	34	12:15	12:20	0:05:00	35	8800	3,3	97	2,8	2,5
	42	12:15	13:40	1:25:00	77	12250	41,2	199	2,8	2,5
	41	13:40	13:45	0:05:00	35	10000	13	135	2,8	2,5
	40	13:45	13:50	0:05:00	31	8700	3,1	104	2,8	2,5
	38	14:15	14:30	0:15:00	38	10400	22,1	164	2,8	2,5
	40	14:30	14:45	0:15:00	75	12300	42	198	2,8	2,5
	40	14:45	14:50	0:05:00	33	9000	3,1	103	2,8	2,5
	37	15:30	15:35	0:05:00	48	11200	33,2	190	2,8	2,5
	40	15:35	16:40	1:05:00	83	12100	42,6	200	2,8	2,5
7/07/2020	31	9:30	9:40	0:10:00	44	10700	22	169	2,8	2,5
	31	9:40	10:40	1:00:00	73	12350	46,3	193	2,8	2,5
	38	10:40	12:20	1:40:00	48	11300	32,5	190	2,8	2,5
	38	12:20	13:20	1:00:00	38,8	10700	23,2	165	2,8	2,5
	37	13:20	14:15	0:55:00	34,7	10000	13,6	133	2,8	2,5
	39	14:15	14:45	0:30:00	60	12200	42	200	2,8	3,5
	34	15:05	16:00	0:55:00	39	10600	25	161	2,8	3,5
	37	16:00	16:05	0:05:00	100	12800	48	215	2,8	4
39	16:05	16:45	0:40:00	67	12350	43,5	193	2,8	4	

8/07/2020	30	8:10	9:10	1:00:00	38,4	10500	23,8	150	2,8	3
	35	9:10	10:45	1:35:00	44	11200	32,8	183	2,8	3
	38	11:00	15:30	4:30:00	56	12200	42,6	201	2,8	3,5
	39	15:30	16:40	1:10:00	57	12250	41,7	192	2,2	3
	39	16:40	16:45	0:05:00	32	10000	13,7	135	2,8	3
9/07/2020	28	9:00	9:10	0:10:00	62	11150	32,7	147	2,8	3
	40	9:10	13:05	3:55:00	55	12100	42,5	196	2,8	1
	39	13:05	15:30	2:25:00	73,3	12200	42,1	177	2,8	3
	38	16:00	17:00	1:00:00	64	12200	42,2	187	3,5	3,5
10/07/2020	30	8:20	9:20	1:00:00	41,5	10550	24,4	147	3,5	3
	32	9:20	10:20	1:00:00	63	12000	41,4	175	3,5	3
	35	10:50	11:10	0:20:00	39	10650	24,3	161	3	3
	37	11:10	12:05	0:55:00	59	12150	42,6	200	3	3,1
	38	12:20	12:50	0:30:00	58,4	12150	42,4	201	3	3,1
	38	15:00	16:25	1:25:00	59,5	12250	41,9	198	3	3,1
13/07/2020	25	8:20	8:30	0:10:00	38	9950	14,4	124	3	3,1
	32	8:30	9:20	0:50:00	62	12150	42,8	185	3	3,1
	34	15:25	15:45	0:20:00	41	10600	24,1	156	3	3,1
	38	15:45	17:30	1:45:00	64	12000	42,3	196	3	3,1
14/07/2020	29	8:15	8:40	0:25:00	39	10500	23,6	150	3	3,1
	39	8:40	13:15	4:35:00	58	12275	42,2	201	3	2,5
	41	13:15	14:35	1:20:00	62	12275	42,1	197	3	3,7
15/07/2020	31	10:20	10:30	0:10:00	37	10000	15	129	3	2,5
	36	10:30	13:00	2:30:00	61	12050	43,1	195	3	2,5
	38	13:00	15:30	2:30:00	56	12250	41,9	198	3	2,5
	39	15:30	16:30	1:00:00	72	12250	41,8	199	3	3,2
16/07/2020	27	9:05	9:20	0:15:00	44	10500	31,7	171	3	2,5
	29	10:10	10:20	0:10:00	42	10800	32	178	3	2,5
	38	10:20	13:25	3:05:00	55	12300	43	200	3	2,5
	38	13:25	16:15	2:50:00	57	12250	41,9	195	3	2,8
17/07/2020	25	8:30	9:10	0:40:00	38	10350	23	149	3	2,5
	30	9:10	10:30	1:20:00	58	12000	42,2	188	3	2,5
	35	10:30	12:35	2:05:00	60	12150	42	198	3	2,5
	37	12:35	13:45	1:10:00	61	12200	42	200	3	2,7
	38	13:55	16:30	2:35:00	65	12250	42,1	194	3	2,7
	37	16:30	16:45	0:15:00	38	10650	23,7	165	3	2,7
20/07/2020	29	8:20	9:00	0:40:00	42	10500	23,8	153	3	2,5
	32	9:00	10:40	1:40:00	65	12150	42,2	187	3	2,5
	36	10:40	11:00	0:20:00	64	12200	41,9	197	3	2,5
	38	11:00	13:10	2:10:00	65	12250	42,3	198	3	2,8
	40	13:10	14:10	1:00:00	67	12300	42,1	196	3	3,2
21/07/2020	30	8:45	9:15	0:30:00	41,5	10550	23,4	151	3	3,2
	31	9:15	9:45	0:30:00	64	12050	42,4	185	3	2,5
	34	9:45	10:45	1:00:00	63	12100	41,9	189	3	2,5
	37	10:45	11:30	0:45:00	61	12200	42	197	3	2,5
	38	11:30	12:20	0:50:00	60	12250	41,9	200	3	2,5
	38	12:20	14:10	1:50:00	61	12250	42,2	200	3	2,6
	40	14:10	15:45	1:35:00	61	12150	41,8	202	3	3
	41	15:45	17:00	1:15:00	63	12250	42	196	3	3,5
22/07/2020	26	8:20	8:30	0:10:00	37	10500	24,1	149	3	2,5
	29	8:30	9:00	0:30:00	57,5	12000	42,2	188	3	2,5
	32	9:00	10:00	1:00:00	59	12150	41,7	194	3	2,8
	35	10:00	10:40	0:40:00	60	12150	41,9	195	3	2,5
	37	10:40	11:20	0:40:00	60	12200	42	200	3	2,8
	39	11:20	12:00	0:40:00	65	12250	42	198	3	3,2
	40	12:00	16:10	4:10:00	64	12300	42,3	200	3	3,5
23/07/2020	25	8:30	8:45	0:15:00	39	10400	24,2	149	3	3
	30	8:45	10:05	1:20:00	62	12100	41,6	181	3	3
	35	10:05	11:35	1:30:00	58,6	12200	41,7	199	3	3
24/07/2020	30	8:10	8:30	0:20:00	50,5	12150	42,3	202	3	4,4
	35	11:30	11:50	0:20:00	19	10700	23	164	3	6
	37	11:50	16:30	4:40:00	56	12200	42,2	200	3	4,8
27/07/2020	28	9:45	10:10	0:25:00	12	10400	23	161	3	4
	33	10:10	11:50	1:40:00	52	12150	42,2	193	3	4
	39	11:50	13:40	1:50:00	54	12250	42	200	3	4,5
	42	13:40	14:50	1:10:00	57	12300	42,1	200	3	5
	43	14:50	16:05	1:15:00	58	12300	42,3	197	3	5,4

28/07/2020	27	8:40	9:00	0:20:00	63	11200	34,9	164	3	4
	33	9:00	9:30	0:30:00	77	12150	42,4	200	3	3,3
	35	9:30	10:30	1:00:00	80	12200	42	200	3	3,8
	38	14:00	14:30	0:30:00	37	10700	25,2	178	3	3,8
	41	14:30	16:30	2:00:00	87	12250	42,8	194	3	4,8
29/07/2020	27	8:20	8:45	0:25:00	43	10400	23,8	165	3	4,8
	32	8:45	11:15	2:30:00	93	12100	42,7	177	3	4,8
	38	11:15	16:20	5:05:00	83	12250	42,3	186	3	4,8
	43	16:20	16:30	0:10:00	88	12300	41,9	196	3	4,8
30/07/2020	26	8:30	8:40	0:10:00	38	10400	23,4	157	3	4,6
	29	8:40	10:20	1:40:00	89	12000	42,6	172	3	4,6
	36	10:20	12:00	1:40:00	88	12150	41,7	183	3	4,6
	42	12:20	14:50	2:30:00	81	12250	42,1	193	3	4,6
	43	14:50	15:40	0:50:00	77	12300	41,6	199	3	4,6
20/08/2020	34	11:40	12:20	0:40:00	38	10400	35,2	157	3	3,5
	40	13:20	16:20	3:00:00	72	12150	40,2	193	3	3,5
21/08/2020	25	8:25	15:00	6:35:00	79	12200	40,2	195	3	3,5
25/08/2020	32	8:15	14:30	6:15:00	76	12000	41,2	178	3	3,5
	38	14:45	16:30	1:45:00	73	12150	40,8	189	3	3,5
27/08/2020	27	8:30	11:00	2:30:00	79	12000	40,8	176	3	3
28/08/2020	37	10:00	16:30	6:30:00	55	12000	40,2	188	3	3,5
31/08/2020	20	8:15	10:00	1:45:00	42	11800	40,1	191	3	3,5
	29	10:40	12:40	2:00:00	45	12000	40,1	195	3	3,5
	37	12:40	16:30	3:50:00	49	12200	40,2	195	3	3,5
01/09/2020	29	11:10	13:15	2:05:00	59	12000	40,4	177	3	3,5
	35	13:15	16:30	3:15:00	56	12000	40,2	181	3	3,5
02/09/2020	25	8:20	14:20	6:00:00	53	11600	40,4	170	3	3,5
	38	15:00	16:25	1:25:00	58	12000	40,4	188	3	3,5
03/09/2020	26	8:15	11:05	2:50:00	63	11900	40,7	170	3	3,5
	37	15:35	16:45	1:10:00	67	12100	40,4	187	3	3,5
04/09/2020	34	10:00	13:00	3:00:00	65	12000	41,5	178	3	3,5
	38	13:00	16:00	3:00:00	57	12050	40,3	189	3	3,5
07/09/2020	28	7:50	11:30	3:40:00	65	12000	40,2	169	3	3,5
	32	12:30	14:30	2:00:00	54	11950	40,4	179	3	3,5
08/09/2020	22	7:50	9:00	1:10:00	64	12000	40,3	178	3	3,5
	28	10:00	15:00	5:00:00	56	11950	40,8	180	3	3,5
	38	15:00	15:50	0:50:00	55	12100	40,4	187	3	3,5
09/09/2020	23	8:10	12:45	4:35:00	61	11900	40,2	170	3	3,5
	36	13:30	15:15	1:45:00	64	12050	40,7	180	3	3,5
10/09/2020	23	8:15	12:30	4:15:00	68	11950	41,1	166	3	3,5
11/09/2020	38	13:15	15:30	2:15:00	74	12050	40,6	183	3	3,5
14/09/2020	26	7:35	12:30	4:55:00	74	11850	40,5	168	3	3,5
	40	12:30	14:15	1:45:00	75	12050	40,3	188	3	3,5
15/09/2020	27	9:00	11:00	2:00:00	74	11800	40,6	170	3	3,5
	36	11:00	15:35	4:35:00	75	12000	40,6	181	3	3,5
16/09/2020	24	7:25	13:30	6:05:00	76	11900	40,7	172	3	3,5
17/09/2020	27	7:50	12:40	4:50:00	74	11950	40,2	175	3	3,5
	37	12:40	14:00	1:20:00	75	12050	40,6	190	3	3,5
	33	14:05	15:30	1:25:00	76	12050	40,3	189	3	3,5
18/09/2020	24	7:20	14:00	6:40:00	79	11950	41,3	174	3	3,5
21/09/2020	26	9:50	11:15	1:25:00	70	11950	41,7	177	3	3,5
	33	12:55	13:35	0:40:00	42	12000	40,4	187	3	3,5
22/09/2020	22	7:35	10:50	3:15:00	78	11850	40,3	173	3	3,5
	34	10:50	11:05	0:15:00	77	12000	40,6	182	3	3,5

23/09/2020	31	15:00	16:50	1:50:00	80	12100	40,7	183	3	3,5
24/09/2020	28	7:30	10:30	3:00:00	74	11900	40,3	189	3	1,5
	34	13:15	13:45	0:30:00	73	12000	41,2	196	3	1,5
28/09/2020	20	9:00	12:00	3:00:00	68	12000	42	193	3	2
	32	14:10	15:00	0:50:00	74	12050	41	192	2,6	3
29/09/2020	20	7:40	12:20	4:40:00	71	11850	40,4	180	3	2
	35	12:20	15:15	2:55:00	72	12000	40,2	193	3	2,5
30/09/2020	22	7:30	8:30	1:00:00	69	11750	40,3	181	3	0,7
	32	12:15	15:20	3:05:00	77	12050	41,6	187	3	2
01/10/2020	22	7:20	14:45	7:25:00	74	11800	40,8	173	3	2
02/10/2020	22	7:45	10:35	2:50:00	77	11950	40,1	184	3	2
05/10/2020	17	7:30	10:00	2:30:00	71	11800	40,1	178	3	1
	24	10:55	15:20	4:25:00	71	11900	40,6	190	3	1
06/10/2020	18	7:30	11:00	3:30:00	77	11700	40,7	166	3	2
	30	13:00	15:20	2:20:00	70	12000	40,5	191	3	2
07/10/2020	20	7:15	13:50	6:35:00	73	11900	40,1	170	3	2
	33	14:25	15:30	1:05:00	70	12175	40,3	197	3	2
08/10/2020	20	7:10	14:20	7:10:00	70	11750	40,2	183	3	1
12/10/2020	29	11:30	15:25	3:55:00	73	11950	41,4	178	3	2
13/10/2020	19	7:20	13:30	6:10:00	72	11900	40,3	182	3	1,7
21/10/2020	19	9:30	14:30	5:00:00	69	11950	41	186	3	2,5
22/10/2020	20	7:40	13:00	5:20:00	77	12000	41	174	3	2,5
26/10/2020	18	7:20	14:00	6:40:00	86	11800	40,7	157	3	3
	38	15:00	15:30	0:30:00	75	12100	41	179	3	3
27/10/2020	16	7:15	8:30	1:15:00	85	11500	40,7	158	3	3
	37	12:30	15:25	2:55:00	77	12000	40,3	177	3	2,5
28/10/2020	21	7:10	9:50	2:40:00	81	11650	40,5	158	3	2,5
	29	11:50	15:40	3:50:00	78	11800	41	169	3	2,5

DOCUMENTO 3: COSTE DEL PROYECTO

Se recogen en este apartado los costes reales de este proyecto de investigación, desglosándose por partidas e incluyendo la amortización de equipos utilizados en el mismo.

1.- Coste del material empleado en la fabricación de los prototipos de cuerpo de inyección:

Concepto de gasto-Material	Cantidad	Unidad	Coste Unitario	Total
PET-G (1.75mm)	2	KG	20,99 €	41,98 €
Cuerpo de inyección (aluminio)	1	unidad	432 €	432,00 €
Cuerpo de inyección (nylon)	1	unidad	26 €	26,00 €
Inyector	1	unidad	9,35 €	9,35 €
Servomotor	1	unidad	21,90 €	21,90 €
Mariposa (resina)	1	unidad	12 €	12,00 €
Tornillos m3x8	4	unidad	0,02 €	0,07 €
Tronillos m5x50	2	unidad	0,03 €	0,06 €
Cable PTFE (25 AWG)	2	m	0,61 €	1,22 €
Total				544,58 €

2.- Amortizaciones del equipamiento utilizado:

Se ha reflejado el coste aproximado de este equipamiento haciendo una estimación en base a su coste original y el tiempo que se ha empleado en este proyecto.

Concepto de gasto-Amortizaciones	Cantidad	Unidad	Coste unitario	Total
Ordenador	1	unidad	47 €	47 €
Sala de ensayo	1	unidad	200 €	200 €
Herramientas	1	unidad	28 €	28 €
Taller	1	unidad	65 €	65 €
Total				340 €

PRESUPUESTO DE CONTRATA

Se procede ahora a incluir en el presupuesto otra serie de conceptos que van más allá del coste intrínseco. En este apartado se analiza lo que sería este presupuesto desglosado por partidas.

1.- Recursos humanos:

Se plantea la repercusión a la empresa contratante de las horas de trabajo de un ingeniero de investigación y de un ingeniero de supervisión en base a los precios de 50€/h para el primero y 80€/h el segundo:

Concepto de gasto-Recursos Humanos	Cantidad	Unidad	Coste unitario	Total
<i>Ingeniero de investigación</i>				
Documentación bibliográfica	50	hora	20 €	1.000 €
Análisis	20	hora	20 €	400 €
<i>Generación de documentos</i>	50	hora	20 €	1.000 €
Proceso de fabricación				
Diseño 3D	75	hora	30 €	2.250 €
Gestión de pedidos	10	hora	30 €	300 €
Fabricación	15	hora	30 €	450 €
Pruebas	50	hora	30 €	1.500 €
<i>Ingeniero de supervisión</i>				
Supervisión general del proyecto	20	hora	50 €	1.000 €
Total				7.900 €

2.- Gastos generales:

Este concepto recoge la imputación a este proyecto de los gastos generales de una empresa dedicada a la consultoría en ingeniería (alquileres, administración, gastos financieros, impuestos, etc.). Se calcula como un porcentaje del 8% sobre el importe total del proyecto:

Concepto de gasto- Gastos generales	Cantidad	Unidad	Coste unitario	Total
Gastos generales				702,80 €
Total				702,80 €

RESUMEN DEL PRESUPUESTO:

RESUMEN	TOTAL
Materiales	544,58 €
Amortización	340 €
Recursos Humanos	7.900 €
Gastos generales	702,80 €
TOTAL	9.487,38 €

DOCUMENTO 4: PLIEGO DE CONDICIONES

OBJETO

El presente documento refleja todas las normas, reglamentos y leyes de carácter general que sean de aplicación tanto en el desarrollo como en la ejecución del Proyecto que se presenta, dejando constancia de los derechos y obligaciones de las partes implicadas en la realización de este.

El presente documento rige la elaboración y el uso de los métodos utilizados para la resolución del problema planteado. Es de obligado cumplimiento y será tenido en cuenta en todo momento durante la elaboración del presente proyecto.

En caso de contradicción entre lo definido en la memoria y el pliego de condiciones, prevalecerá la memoria si la incompatibilidad se refiere a cálculos, y prevalecerá el pliego de condiciones si la incompatibilidad se refiere a cualquier otro asunto.

CONDICIONES TÉCNICAS

Extensión de las partes de que consta el proyecto

El proyecto se puede dividir en 4 partes:

- Revisión bibliográfica de la teoría de los materiales compuestos
- Análisis y descripción de la fabricación de carenados de motocicletas de competición.
- Caracterización de las propiedades mecánicas de los materiales utilizados mediante ensayos experimentales.
- Análisis de resultados y definición de conclusiones sobre la idoneidad de los materiales descritos para su utilización en la fabricación de carenados.

Especificaciones de material

Las propiedades de los materiales empleados se describen en el apartado correspondiente donde estos han sido utilizados.

Legislación

El diseño del producto y el proceso de producción no entrarán en contradicción con las normas legales que actualmente o con posterioridad se dicten, y en especial con las que aparecen en el presente documento. Se actuará en coordinación con las Administraciones Públicas en temas de Seguridad e Higiene en el trabajo mejora de empleo, calidad medioambiental...

Serán de obligado cumplimiento las siguientes normativas:

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales (BOE 10/11/95). Última modificación: 29 de diciembre de 2014.

- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención (BOE 31/01/97).
- Última modificación: 10 de octubre de 2015.
- Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas (BOE 11/10/2008).
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo (BOE 23/04/97).
- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en partículas dorso lumbares, para los trabajadores (BOE 23/04/97).
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo (BOE 07/08/97), modificado por Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre, (BOE 13/11/04).

Además de la normativa general de aplicación en todo proceso de fabricación existe en este caso una muy particular ya que al tratarse de la fabricación de un carenado para motocicleta de competición estará sujeta al reglamento técnico de la competición que se trate.

De forma general se puede distinguir entre las competiciones de prototipos en las que la fabricación del carenado es libre y por lo tanto el reglamento es muy específico y determinante, y las competiciones basadas en motos “de calle”, en las que, al tener que mantener las formas del carenado de la motocicleta original, el reglamento no es tan definitivo.

Como ejemplo del primer caso el reglamento de la competición internacional para Universidades Moto Student y en el segundo caso el reglamento de la categoría de Supersport 300 del Campeonato de España de Velocidad organizado por la RFME.

CONDICIONES FACULTATIVAS

En la consecución final del proyecto intervienen las siguientes personas físicas o jurídicas:

- Dirección facultativa o dirección técnica: es el autor del proyecto, que posee pleno conocimiento de este y de las circunstancias que lo rodean.
- Propiedad: es quien compra a la dirección facultativa la explotación del proyecto y quien dispone del capital necesario para llevarlo a cabo. La propiedad compra a la dirección facultativa el proyecto tal y como se expone hasta ahora, y contrata a un contratista para que se realicen las partes que constituyen la extensión del proyecto.
- Contratista: en el presente proyecto, la contrata puede ser una ingeniería o una U.T.E. (Unión Temporal de Empresas). Se encarga de realizar los trabajos antes mencionados.

En este apartado se describen y regulan las relaciones entre la contrata y la dirección facultativa derivadas de la ejecución técnica de los trabajos.

Obligaciones y derechos del contratista

Las obligaciones y los derechos que corresponde al contratista en relación con la ejecución de los trabajos son las siguientes:

- El contratista está obligado a conocer las normas utilizadas en la ejecución del proyecto, para la correcta ejecución de los trabajos.
- El contratista está obligado a llevar a cargo la experimentación sobre prototipos.
- El contratista está obligado a no empezar los trabajos sin la dirección facultativa.
- El contratista está obligado a cumplir los requisitos del libro de órdenes (condiciones técnicas y facultativas)
- El contratista tiene derecho a exigir un ejemplar del proyecto.
- El contratista tiene derecho a recibir solución técnica a los problemas no previstos en el proyecto.
- El contratista tiene derecho a que se le suministren los materiales y máquinas

que está a cargo de la propiedad en el plazo y condiciones estipuladas.

Facultades de la dirección técnica

La dirección técnica tiene facultad para decidir sobre el comienzo, ritmo y calidad de los trabajos, así como el control de la seguridad del personal que ejecute los trabajos.

Comienzo, ritmo, plazo y condiciones de la ejecución de los trabajos

Una vez establecida la fecha de inicio de los trabajos, se establecerá por acuerdo firmado entre la contrata y la propiedad una fecha de consecución límite. Fijada esta fecha, la contrata deberá proceder a la entrega de un informe donde se indique la planificación de los trabajos.

Dicha planificación se realizará con un diagrama de barras donde conste la fecha de inicio, el ritmo de trabajos y la fecha final de cada trabajo.

Trabajos defectuosos y modificaciones por causa de fuerza mayor

El contratista tiene la responsabilidad de reponer a su costa aquellos trabajos que estén correctamente ejecutados a juicio de la dirección facultativa; se extiende también dicha responsabilidad a aquellos defectos no detectados, pero existentes: los denominados vicios ocultos.

CONDICIONES ECONÓMICAS

En este apartado se describen y regulan las relaciones económicas entre la propiedad y la contrata.

Fianza

La fianza es el porcentaje sobre el valor total de los trabajos de investigación y desarrollo, que deposita la contrata como garantía de la firma del contrato.

La fianza se establecerá en un 4%. Además de esta fianza, se fijará una retención del 5% del conjunto de las certificaciones.

La devolución de la fianza y de las retenciones se realizará tras la firma del acta de la recepción definitiva.

Precios contradictorios

Todo precio de la partida no presupuestada en el proyecto original y que aparece durante la ejecución de los trabajos deberá ser aprobado por la dirección técnica para que se pueda ejecutar el trabajo correspondiente.

Mejoras y modificaciones

Toda mejora o modificación que se produzca por deseo de la propiedad correrá a su cargo, tanto si se realiza durante el periodo de fabricación, como si es realizada en periodo de prueba. Cualquier modificación por parte del contratista no modificará el precio inicial presupuestado.

Abono de los trabajos

Una vez la propiedad reciba el prototipo, tendrá un plazo de 60 días para abandonar su importe a la contrata. La modalidad de pago se acordará previamente entre la propiedad y la contrata.

Penalizaciones

Se estipulan dos tipos de penalizaciones:

- Penalización por incumplimiento de contrata

- Penalización por demora: se aplicará por cada día de retraso en la ejecución de los trabajos a razón de 3€ por cada día.

No se computarán como días de demora los días perdidos por causa de fuerza mayor como huelgas autorizadas, catástrofes y las causas administrativas.

CONDICIONES LEGALES

En este apartado se fijan las condiciones de tipo legal que debe cumplir el contratista, así como el tipo de contrato y adjudicación que ha de regir.

El contrato

El tipo de contrato que es de aplicación es el contrato a precio alzado. En esta modalidad se estipula una cantidad fija por la totalidad de los trabajos desde el principio, y no se modifica por ningún motivo.

Arbitraje y jurisprudencia competente

En caso de litigio o desavenencia entre el cliente y el contratista, será la dirección técnica la que actuará como árbitro para eliminar dichas desavenencias y decir cuál de las partes tiene razón y poder llegar así a un acuerdo. En caso de no llegar a un acuerdo, cada una de las partes llamará a un técnico y, entre estos, intentarán solucionar el problema.

Si no se llegase a ninguna solución, se llevará el litigio a juicio.

Responsabilidad del contratista

Las responsabilidades que debe asumir el contratista durante la vigencia del contrato son:

- Solvencia económica
- Situación legal y laboral de los trabajadores
- Buena calidad de ejecución de los trabajos
- Cumplir la entrega del pedido en los plazos expuestos en los apartados anteriores del pliego de condiciones

Subcontratas

Se podrá realizar una cesión de trabajos mediante la contratación de otros suministradores.

Aun habiéndose realizado estas subcontratas, se hace constar que el contratista principal sigue siendo el único responsable frente a la propiedad.

Accidentes de trabajo

Se exige el cumplimiento de las ordenanzas de seguridad e higiene en el trabajo, así

como todas aquellas órdenes que regulan los trabajos contemplados en el proyecto.

Daños a terceros

El contratista es el responsable de los posibles daños a terceros, y tienen la obligación de abonar los gastos que a aquellos produjeran.

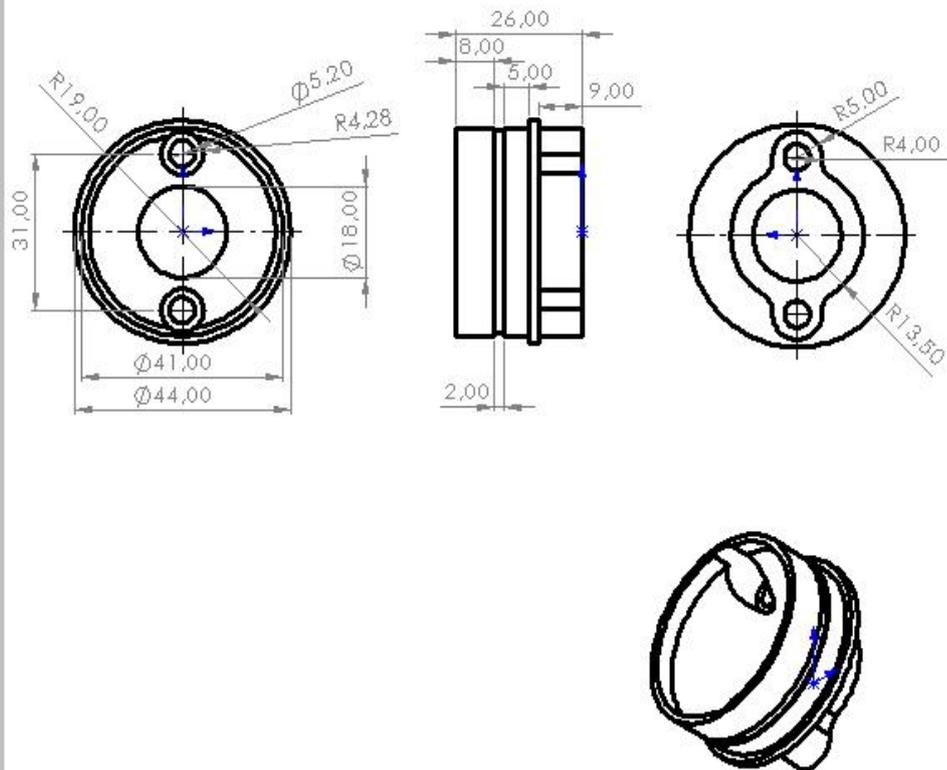
Causas de rescisión del contrato

Las causas por las que el contrato puede rescindirse son:

- Retraso excesivo en la ejecución del contrato
- Abandono de los trabajos sin causa justificada
- Causa administrativa
- Fallecimiento del contratista

En el caso de rescisión del contrato por parte del cliente, se abonará a la contrata los trabajos efectuados hasta el momento, más el 50% del resto del trabajo pendiente, excepto cuando la rescisión sea debida a un retraso excesivo en la ejecución o por abandono de los trabajos sin causa justificada.

DOCUMENTO 5: PLANOS



Nombre:

Fernando López Vidal-Abarca

Escala:

1:1

Proyecto:

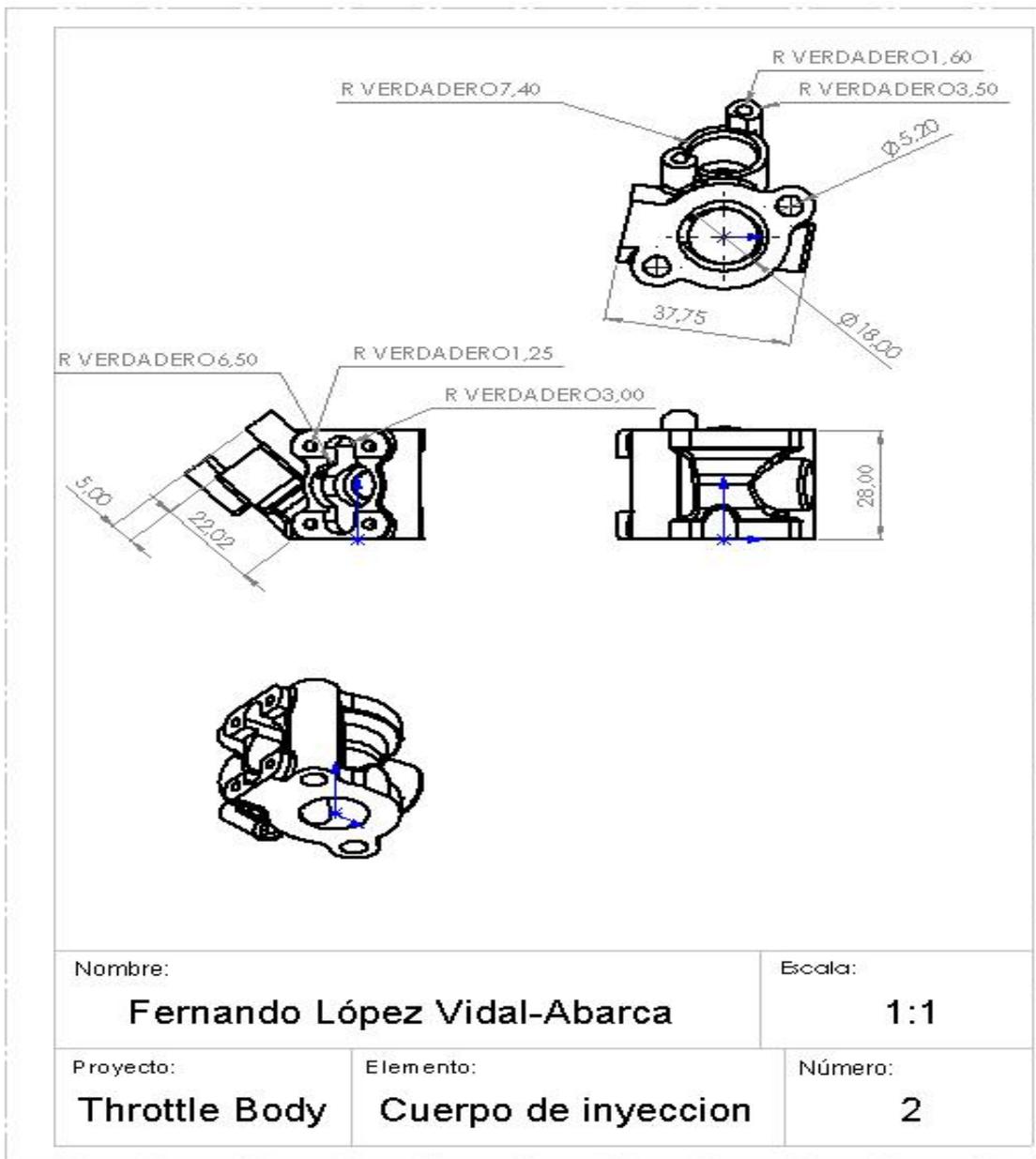
Throttle Body

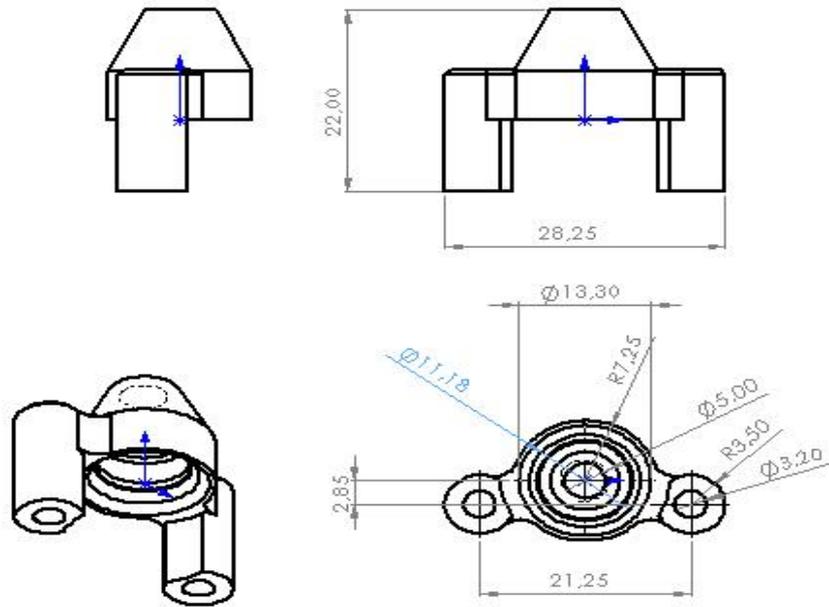
Elemento:

Tobera

Número:

1





Nombre:

Fernando López Vidal-Abarca

Escala:

2:1

Proyecto:

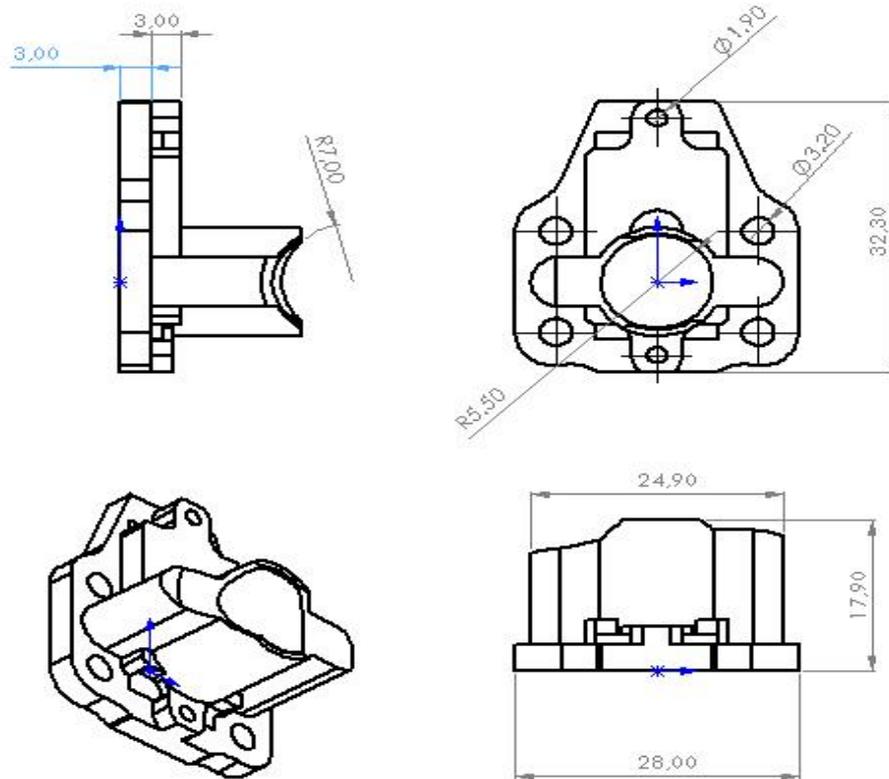
Throttle Body

Elemento:

Tapa Inyector

Número:

3



Nombre:

Fernando López Vidal-Abarca

Escala:

2:1

Proyecto:

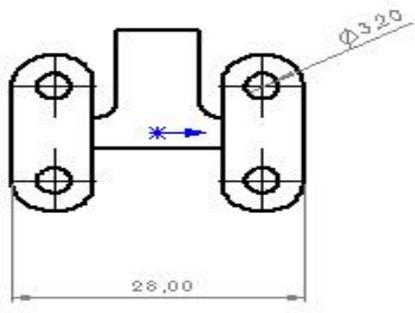
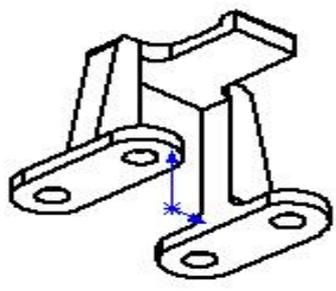
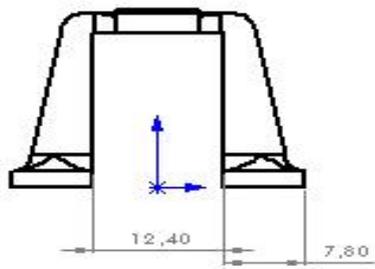
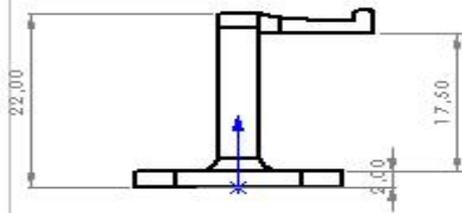
Throttle Body

Elemento:

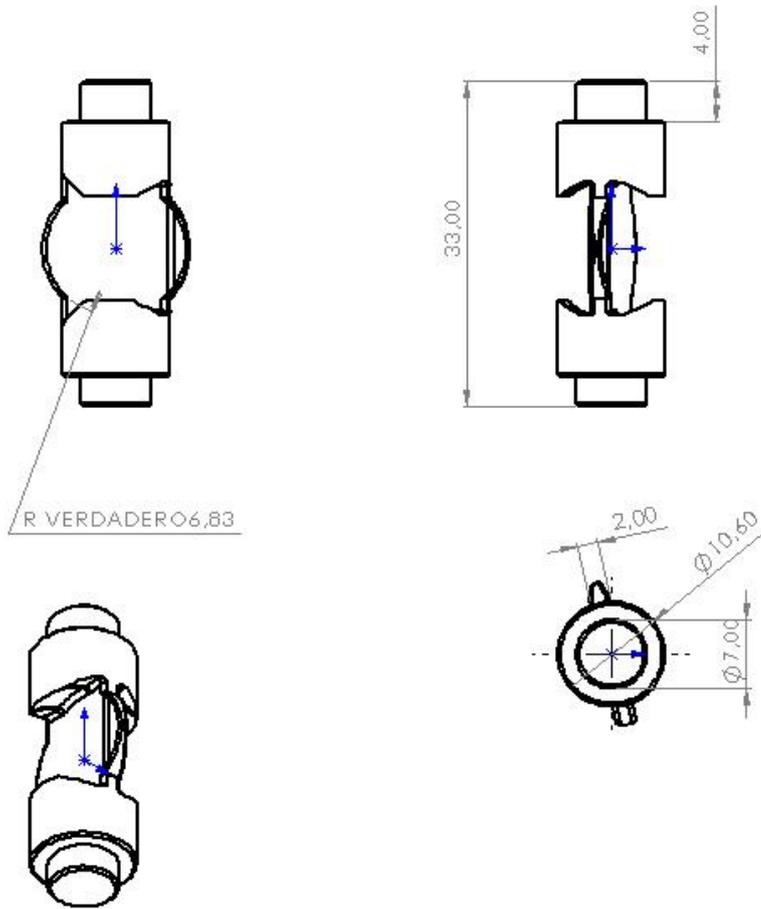
Soporte Servo

Número:

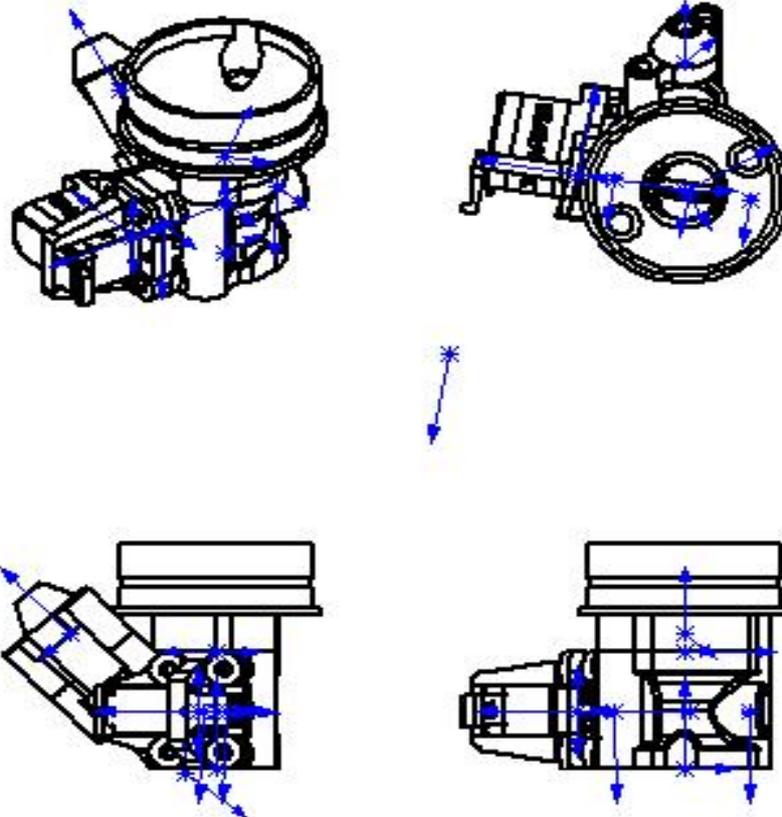
4



Nombre: Fernando López Vidal-Abarca		Escala: 2:1
Proyecto: Throttle Body	Elemento: Puente Servo	Número: 5



Nombre: Fernando López Vidal-Abarca		Escala: 2:1
Proyecto: Throttle Body	Elemento: Mariposa	Número: 6



Nombre :		Escala :
Fernando López Vidal-Abarca		1:1
Proyecto :	Elemento :	Número :
Throttle Body	Ensamblaje	7