



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER
DISEÑO, FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE CONVERSIÓN DE UN
VEHÍCULO CON MOTOR DE CARBURACIÓN A INYECCIÓN
ELECTRÓNICA

Autor: Luis Alonso Vega

Director: Juan Norverto Moriñigo

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Diseño, fabricación e instalación de conversión de un vehículo con motor de carburación a
inyección electrónica

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2022/23 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Luis Alonso Vega

Fecha: **12.06.2023**

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Juan Norverto Moriñigo

Fecha://



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER
DISEÑO, FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE CONVERSIÓN DE UN
VEHÍCULO CON MOTOR DE CARBURACIÓN A INYECCIÓN
ELECTRÓNICA

Autor: Luis Alonso Vega

Director: Juan Norverto Moriñigo

Madrid

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera agradecer al director de este proyecto, Juan Norverto, por el tiempo que ha empleado en apoyarme con la realización del proyecto, los consejos que me ha brindado y su entusiasmo.

Quisiera agradecer también al personal del laboratorio de fabricación de ICAI, y especialmente a Mariano Jiménez, por su apoyo en la fabricación de las piezas diseñadas.

Por último, quisiera agradecer a Pablo Lozano por su ayuda buscando el vehículo para este proyecto y durante la restauración del coche antes del proyecto y conducir el coche después de las modificaciones para permitirme ajustar la centralita.

DISEÑO, FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE CONVERSIÓN DE UN VEHÍCULO CON MOTOR DE CARBURACIÓN A INYECCIÓN ELECTRÓNICA

Autor: Alonso Vega, Luis.

Director: Norverto Moriñigo, Juan.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto se ha convertido un Peugeot 205 GTX a inyección electrónica. Se han diseñado las piezas para instalar los componentes necesarios para la conversión. El resultado de las modificaciones realizadas es una reducción de las emisiones y el consumo de combustible y un aumento de la facilidad de uso del coche.

Palabras clave: Carburación, Inyección electrónica, Reducción de emisiones

1. Introducción

Debido a las normativas anticontaminación cada vez más estrictas, los turismos de gasolina dejaron de usar carburadores en favor de sistemas de inyección electrónica. Sin embargo, los coches que fueron fabricados con carburadores no han sido actualizados a esta nueva tecnología.

En los últimos años se ha creado una nueva corriente de restauración para coches clásicos, los restomods. Al contrario que en una restauración convencional, las características de un restomod han sido modificadas respecto a las originales en búsqueda de una mayor comodidad, fiabilidad, prestaciones, etc. Las modificaciones más comunes son nuevos motores con tecnologías modernas, interiores renovados con materiales de mayor calidad y conversión de motores de combustión a un tren de potencia eléctrico.

2. Definición del proyecto

El objetivo de este proyecto es modificar un coche con motor de carburación y conseguir una reducción de las emisiones contaminantes del vehículo y una reducción del consumo de combustible. Además, se quiere lograr aumentar la comodidad y facilidad de uso del coche.

Para lograr estos objetivos se va a sustituir el carburador por un sistema de inyección electrónica. También se va a convertir el encendido a control electrónico en lugar del control por distribuidor instalado originalmente. Se instala una centralita programable en el interior del coche y unos sensores en el motor para controlar los sistemas mencionados anteriormente. Por último, se instala un cargador de USB como tienen todos los coches nuevos en la actualidad.

Existen otras alternativas para conseguir convertir un motor de carburación a inyección electrónica. Existen kits para algunos motores para sustituir el carburador por una mariposa con un sistema de inyección monopunto integrado. Algunos modelos de coches se vendieron con versiones de carburación e inyección para el mismo motor. Si se desea convertir un motor carburado a inyección, se pueden instalar los componentes de la versión de inyección sin necesidad de modificación. Sin embargo, la mayoría de los modelos de coches antiguos no entran en estos dos grupos. Para convertir estos modelos es necesario crear un sistema de inyección personalizado exclusivo para ese modelo. Este proyecto se centra en un coche del último grupo.

Otra opción sería cambiar el tren de potencia instalado originalmente por un tren de potencia eléctrico. Aunque esta sería la opción de menores emisiones, existen numerosos inconvenientes a esta modificación. Un coche de 850 kg como el Peugeot 205, diseñado para un motor de combustión, no tiene el espacio o la capacidad de cargar con el peso de las baterías. El coste de la electrificación es muy superior a la conversión a inyección electrónica. El mayor inconveniente es la pérdida del carácter del coche y las sensaciones que el motor de combustión y la caja de cambios manual transmiten al conductor.

3. Descripción del sistema

En primer lugar, se realizan los cálculos necesarios para poder seleccionar los componentes adecuados para la conversión. El cálculo principal es el flujo de combustible necesario para el funcionamiento adecuado del motor y seleccionar los inyectores y la bomba de combustible que se instalarán en el coche.

La conversión de un motor de carburación a inyección electrónica requiere de la instalación de algunos componentes nuevos. Los principales componentes de la conversión son: centralita, inyectores, rail y bomba de combustible, colector de admisión, mariposa del acelerador, sensores, bobinas y rueda fónica.

Debido a la longitud del proyecto, este se ha dividido en 2 fases. En la primera fase se instalan todos los componentes necesarios para convertir el motor a encendido electrónico. Se diseña y fabrica una rueda fónica, que se instala en el distribuidor, para conocer la posición del árbol de levas. Se instala un sensor de efecto Hall en una nueva tapa del distribuidor para detectar el movimiento de la rueda fónica y que la centralita conozca la sincronización del motor. Todos los eventos provocados por la centralita están sincronizados con este sensor. Se instalan también cuatro bobinas de encendido de tipo lógico para que la centralita controle el encendido del motor. Se fabrica e instala un nuevo cableado para conectar la centralita a los sensores y actuadores y alimentar todos los componentes. Por último, se ajusta la centralita para conseguir arrancar el motor y comprobar que los componentes instalados funcionan adecuadamente. El objetivo principal de esta fase es comprobar la sincronización de la centralita con el motor, que será imprescindible y más complicado de solucionar en la próxima fase.

En la segunda fase, la centralita tendrá el control completo del motor, encendido e inyección. Se ha eliminado el carburador, el colector de admisión original y la bomba de combustible mecánica. Se diseña en CAD y fabrica mediante impresión 3D un nuevo colector de admisión. Esta es la pieza más compleja del proyecto y en ella se instalan numerosos componentes muy importantes para el funcionamiento correcto del motor.

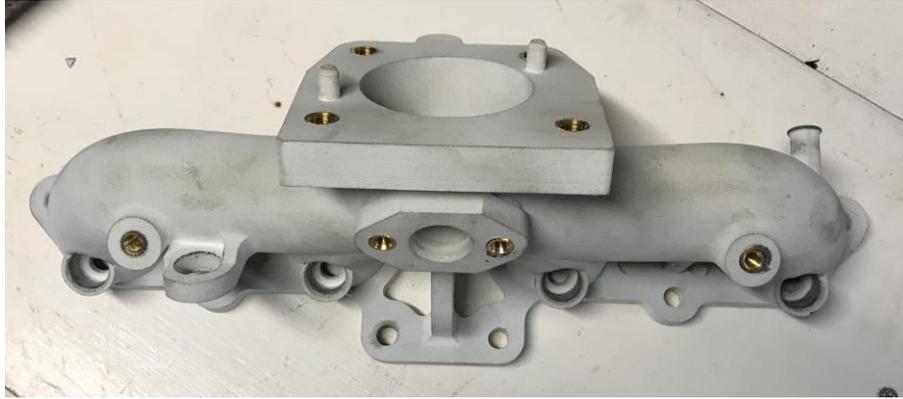


Ilustración 1: Colector de admisión

En el colector de admisión se instalan los inyectores. De los cálculos previos se ha obtenido el flujo de combustible necesario. Se han buscado unos inyectores que se aproximen a este valor. Los inyectores seleccionados, de un Audi A4 1.8T, usan un rail para alimentar los inyectores de combustible. El rail tiene incluido un regulador que mantiene la presión del combustible constante para que el flujo de los inyectores sea estable. Los inyectores se instalan en el colector de admisión, en los agujeros diseñados, y se atornilla el rail al colector.



Ilustración 2: Rail de combustible con inyectores y regulador de presión

Se ha diseñado en el colector una conexión para entregar el vacío de la admisión al asistente de los frenos y al regulador de presión. En el colector se instala también un sensor de presión y temperatura del aire de admisión, que la centralita utiliza para conocer la densidad del aire que entra en el motor. El último componente instalado en el colector de admisión es la mariposa del acelerador. Esta mariposa utiliza el cable del acelerador original del coche y regula la cantidad de aire que entra en el motor. En el cuerpo de la mariposa están instalados el sensor de posición del acelerador y la válvula de control del aire del ralentí. La centralita controla la apertura de esta válvula durante el funcionamiento del motor al ralentí para mantener el régimen de giro constante.

El carburador estaba alimentado por una bomba de combustible mecánica, movida por el árbol de levas del motor. Debido a la presión que trabaja el sistema de inyección, es necesario instalar una bomba eléctrica. La bomba se instala junto al radiador, en un soporte diseñado y fabricado en PA12 mediante fabricación aditiva.



Ilustración 3: Bomba de combustible en su soporte

El circuito de combustible original del Peugeot 205 no tiene conducto de retorno al tanque, pero el regulador de presión necesita descargar el combustible sobrante. Se instala un aforador de otro modelo de Peugeot 205 que tiene una entrada para instalar un retorno al tanque.

Al desinstalar el colector de admisión original, que tenía integrado un conducto del circuito de refrigeración del motor, es necesario cerrar el circuito mediante la instalación de una nueva tubería. Esta está formada por varios tramos de tubo de distintas formas unidos por unos racores metálicos. Uno de los racores tiene un agujero roscado para un sensor de temperatura del refrigerante. La centralita usa este sensor para ajustar el comportamiento del motor, reducir el régimen del ralentí y el enriquecimiento a medida que aumenta la temperatura.

Se ha instalado un sensor de contenido de oxígeno en el escape para conocer la relación de aire combustible, con el que se ajustará el comportamiento de la centralita para conseguir mantener la relación aire combustible estable en el valor estequiométrico.

Con todos los componentes instalados, es necesario ajustar el comportamiento de la centralita durante el arranque, el ralentí y el funcionamiento normal. Primer se configuran los ajustes relativos al arranque. Una vez el motor es capaz de arrancar de manera consistente, se ajusta el ralentí del motor. Para finalizar, se conduce el coche y se ajusta el comportamiento en funcionamiento. El principal ajuste es la tabla de eficiencia volumétrica del motor. Con esta tabla, la centralita calcula la cantidad de combustible que tiene que inyectar. La tabla describe la eficiencia volumétrica respecto al régimen de giro del motor y la presión en la admisión. La tabla se ajusta hasta que el motor mantiene una relación de aire combustible estequiométrica constante en todas las condiciones.

	650	800	1100	1400	1700	2000	2300	2600	2900	3200	3500	4000	4500	5200	6000	7000
108	102.3	103.8	103.8	99.7	98.5	100.1	101.5	102.9	102.9	104.4	105.7	107.3	108.7	110.0	108.7	108.7
102	102.3	100.5	100.5	104.0	108.4	100.1	101.5	102.9	102.9	104.4	105.7	107.3	108.7	110.0	108.7	108.7
96	111.8	110.0	105.0	100.0	91.9	95.6	89.4	92.1	89.8	91.3	92.5	93.9	97.5	100.0	98.8	98.8
90	108.8	110.0	107.0	100.0	96.5	100.4	93.9	96.6	89.8	91.3	92.5	93.9	97.5	100.0	98.8	98.8
84	107.4	120.0	120.0	100.0	96.5	95.0	93.4	96.0	88.0	90.4	91.6	93.0	96.6	90.0	88.9	98.8
78	100.0	131.1	131.1	101.3	95.0	93.0	92.8	100.6	97.0	90.4	91.6	93.0	96.6	90.0	88.9	98.8
72	100.0	135.8	132.2	103.3	100.6	101.6	101.7	99.3	90.5	87.8	89.1	90.4	93.8	87.8	88.9	98.8
66	100.0	124.6	129.1	104.5	100.8	100.8	95.9	101.0	98.0	88.6	96.0	99.0	84.2	86.5	85.3	94.8
60	100.0	124.9	127.3	100.4	90.0	96.6	94.6	94.6	92.7	83.8	90.8	86.8	77.3	79.6	82.5	91.7
54	96.4	97.4	110.9	108.4	90.0	98.0	89.6	89.6	86.1	82.0	89.3	86.7	85.0	87.6	77.9	86.5
48	87.8	88.7	103.5	102.0	98.7	100.1	100.2	89.7	86.0	86.6	94.3	91.6	86.1	87.6	81.3	90.3
43	77.9	82.5	91.8	104.4	93.5	94.1	97.4	83.4	73.3	81.2	79.0	75.9	76.0	77.2	72.7	80.8
38	71.9	70.4	74.0	84.9	75.0	80.0	85.0	69.0	55.1	65.2	62.5	60.0	70.2	70.2	78.0	
34	61.5	63.7	66.5	72.1	71.0	70.0	69.0	66.7	55.3	66.8	62.6	67.8	71.4	71.4	67.1	67.1
30	49.9	50.3	61.5	68.9	53.8	65.2	64.2	57.8	58.0	59.6	55.7	54.2	57.0	60.2	52.3	52.3
20	49.5	49.9	58.0	61.0	49.8	49.6	54.5	54.2	50.2	54.2	55.7	54.2	57.0	60.2	52.3	52.3
L	650	800	1100	1400	1700	2000	2300	2600	2900	3200	3500	4000	4500	5200	6000	7000

Ilustración 4: Tabla de eficiencia volumétrica

4. Resultados

En la revisión de vehículos oficial (ITV) de turismos impulsados por gasolina se realiza una prueba de emisiones de monóxido de carbono (CO) al ralentí. El coche del proyecto obtuvo unas emisiones de 1,83% de CO. Mediante la relación de aire combustible y el gráfico mostrado en la próxima ilustración se estiman las emisiones del motor después de la conversión a inyección electrónica. Las emisiones aproximadas del motor son de 0,8% de CO. Además, debido a que la centralita es capaz de mantener la relación aire combustible estable durante todo el funcionamiento, el motor produce estas emisiones en todas las situaciones. El carburador enriquecía la mezcla en aceleraciones, aumentando las emisiones de CO.

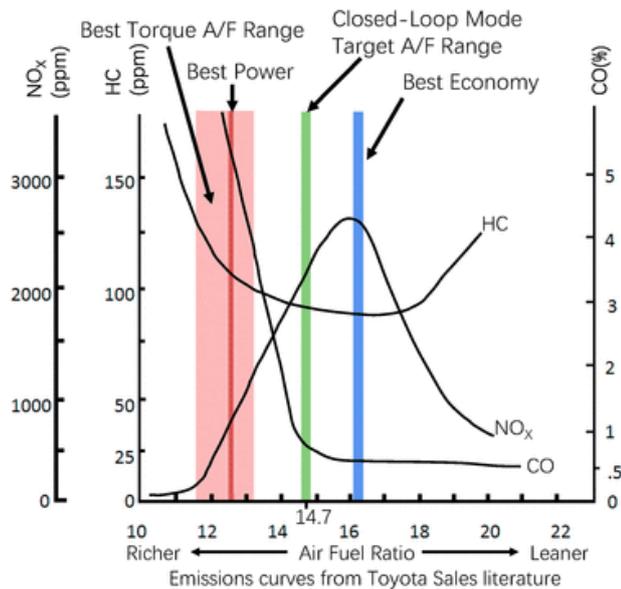


Ilustración 5: Gráfica de emisiones dependiendo de relación aire combustible

Se ha calculado el consumo de combustible en autopista. Se llena el tanque de combustible, se recorre una distancia suficientemente larga para que las imprecisiones sean pequeñas, más de 350km, y se rellena el depósito. Con la distancia y el consumo se calcula el consumo relativo a la distancia. Cuando el motor estaba carburado, el consumo fue de 6,9 l/100km. Después de la conversión a inyección electrónica, el coche consume 6,1 l/100km en autopista.

Por último, se ha conseguido un aumento de la comodidad y facilidad de uso. Cuando el motor tenía instalado el carburador, si el arranque se realizaba en frío, era necesario activar la mariposa de arranque para enriquecer la mezcla. Además, si el coche había estado parado varios días, la bomba de combustible mecánica tenía que rellenar el carburador, lo que tardaba más de 10 segundos tratando de arrancar. La centralita se encarga de que ajustar el comportamiento del motor para facilitar los arranques sin la intervención del conductor. Los arranques en frío se han acortado y los arranques cuando el coche ha estado parado varios días tardan el mismo tiempo, gracias a la bomba de combustible eléctrica. La centralita controla también el ralentí una vez ha arrancado el coche, lo mantiene alto después del arranque y va reduciendo el régimen del motor a medida que se calienta.

5. Conclusiones

Gracias al control de la centralita y los ajustes continuos que es capaz de realizar, se ha logrado una reducción de las emisiones de monóxido de carbono y una ligera reducción del consumo de combustible. Además, se ha aumentado la facilidad de uso del coche, especialmente para conductores que no estén acostumbrados a las necesidades de vehículos más antiguos

Este proyecto sirve de base para la posible instalación futura de un catalizador de tres vías. Estos catalizadores son efectivos reduciendo las emisiones de monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, y necesitan que el motor funcione con una mezcla estequiométrica muy precisa, que se consigue con el sensor de oxígeno en el escape y un control en bucle cerrado.

6. Referencias

- [1] Payri, F., J. M. Desantes, “Motores de combustión interna alternativos”, Barcelona 2011.
- [2] Calculadora de Flujo de Inyección Deatschwerks,
<https://deatschwerks.com/pages/fuel-injector-calculator>
- [3] HP 3D High Reusability PA 12 Datasheet,
https://solitium.es/pdf/Impresora_3D/HP_3D_Datasheet_PA_12_Solitium.pdf

- [4] Wong, Pak-Kin; Gao, Xiang; Wong, Ka In; Vong, Chi-Man; Yang, Zhi-Xin, "Initial-training-free online sequential extreme learning machine based adaptive engine air-fuel ratio control", *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 2019.

DESIGN, FABRICATION & INSTALATION OF A CONVERSION FOR AN INTERNAL COMBUSTION GASOLINE ENGINE FROM A CARBURETTOR TO ELECTRONIC FUEL INJECTION

Author: Alonso Vega, Luis.

Director: Norverto Moríñigo, Juan.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

ABSTRACT

In this project a Peugeot 205 GTX has been converted to electronic fuel injection. Parts have been designed to install the components needed for the conversion. The result of the modifications that have been made is a reduction in emissions and fuel consumption and an increase in the usability of the car.

Keywords: Carburettor engine, Electronic fuel injection (EFI), Emissions reduction

1. Introduction

Due to increasingly strict anti-pollution regulations, gasoline cars stopped using carburetors in favour of electronic fuel injection systems. However, cars that were built with carburetors have not been upgraded to this new technology.

In recent years, a new trend of restoration for classic cars has been created, the restomods. Unlike conventional restorations, restomods, modify some characteristics from the original design of the car in search of greater comfort, reliability, performance, etc. The most common modifications are new engines with modern technologies, updated interiors with higher quality materials, and conversion of combustion engines to an electric powertrain.

2. Project definition

The objective of this project is to modify a car with a carburetion engine and achieve a reduction in polluting emissions and a reduction in fuel consumption. Furthermore, the comfort and ease of use of the car were also improved.

To achieve these objectives, the carburettor will be replaced by an electronic fuel injection system. The ignition will also be converted to electronic control instead of the originally installed distributor. A programmable control unit will be installed inside the car and sensors in the engine will be used to control the systems mentioned above. Finally, a USB charger will be installed as most new cars nowadays are equipped with them.

There are other alternatives to convert a carburation engine to electronic injection. There are kits for some engines to replace carburetors with butterfly valves with an integrated single-point injection system. Some car models were sold with carburetion and injection versions for the same engine. In order to convert a carburetted engine to injection, the

components of the injection version can be used without modification. However, most old car models do not fall into these two groups, therefore, it is necessary to create a custom injection system unique to each of these models. This project focuses on a car from the last group.

Another option would be to change the originally installed powertrain to an electric powertrain. Although this would achieve lower emissions, there are numerous drawbacks to this modification. An 850 kg car like the Peugeot 205, designed for a combustion engine, does not have the space or capacity to carry the weight of the batteries. The cost of electrification is much higher than the conversion to electronic fuel injection. The biggest drawback is the loss of the character of the car and the sensations that the combustion engine and the manual gearbox transmit to the driver.

3. System description

First, the necessary calculations are made to be able to select the right components for the conversion. The main calculation is the fuel flow required for the proper operation of the engine and selecting the fuel injectors and fuel pump to be installed in the car.

Converting a carburetted engine to electronic injection requires the installation of some new components. The main components of the conversion are: engine control unit (ECU), injectors, fuel rail and pump, intake manifold, throttle butterfly, sensors, coils and trigger wheel.

Due to the length of the project, it has been divided into 2 phases. In the first phase, all the necessary components are installed to convert the engine to electronic ignition. A trigger wheel is designed and manufactured, which is installed in the distributor, to know the position of the camshaft. A Hall effect sensor is installed in a new distributor cap to detect the movement of the trigger wheel. This way the ECU knows the timing of the engine. All the events caused by the ECU are synchronized with this sensor. Four logical type ignition coils are also installed for the ECU to control the ignition of the engine. New wiring is manufactured and installed to connect the ECU to the sensors and actuators and power all the components. Finally, the ECU is adjusted to start the engine and check that the installed components work properly. The main objective of this phase is to check the synchronization of the ECU with the engine, which will be essential and more complicated to solve in the next phase.

In the second phase, the control unit will have complete control of the engine, ignition and injection. The carburettor, original intake manifold and mechanical fuel pump have been removed. A new intake manifold is designed in CAD and manufactured by 3D printing. This is the most complex part of the project and numerous very important components are installed in it for the correct operation of the engine.

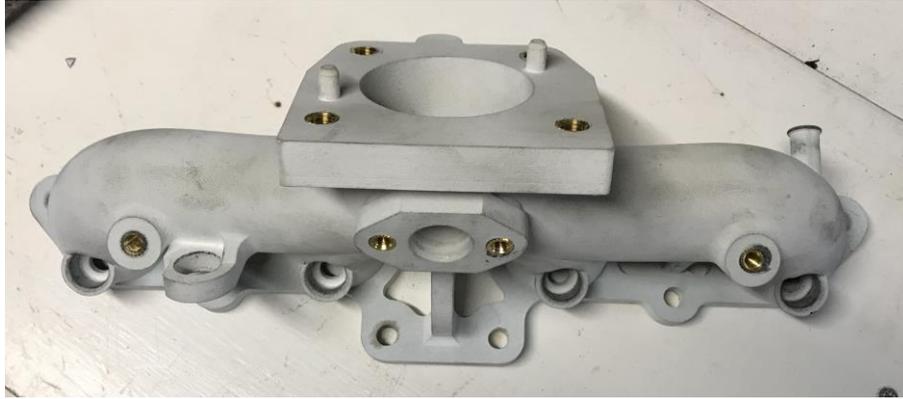


Illustration 6: Intake manifold

The injectors are installed in the intake manifold. The injector's necessary fuel flow has been obtained from the previous calculations. The selected injectors, from an Audi A4 1.8T, use a rail to feed the fuel injectors. The rail includes a regulator that keeps the fuel pressure constant so that the flow of the injectors is stable. The injectors are installed in the intake manifold, in the designed holes, and the rail is bolted to the manifold.



Illustration 7: Fuel rail with injectors and pressure regulator

A connection has been designed in the manifold to deliver the intake vacuum to the brake booster and the pressure regulator. A manifold air pressure and temperature sensor is also installed in the manifold, which the control unit uses to determine the density of the air entering the engine. The last component installed in the intake manifold is the throttle butterfly. This butterfly uses the car's original throttle cable and regulates the amount of air entering the engine. The throttle position sensor and idle air control valve are installed on the throttle body. The ECU controls the opening of this valve during engine idling to maintain a constant speed.

The carburettor was fed by a mechanical fuel pump, driven by the engine's camshaft. Due to the pressure that the injection system works, it is necessary to install an electric pump. The pump is installed next to the radiator, on a support designed and manufactured in PA12 by additive manufacturing.



Illustration 8: Fuel pump on its support

The original fuel circuit of the Peugeot 205 does not have a return line to the tank, but the pressure regulator needs to discharge the excess fuel. A tank exit with a return connection from a different Peugeot 205 model is installed in the tank of the car.

When uninstalling the original intake manifold, which had an engine cooling circuit pipe integrated, it is necessary to close the circuit by installing a new pipe. This is made up of several sections of tube of different shapes joined by metal fittings. One of the fittings has a threaded hole for a coolant temperature sensor. The ECU uses this sensor to adjust engine behaviour, reduce idle speed and enrichment as the temperature rises.

An oxygen content sensor has been installed in the exhaust to determine the air-fuel ratio, with which the behaviour of the ECU will be adjusted to maintain the air-fuel ratio stable at the stoichiometric value.

With all the components installed, it is necessary to adjust the behaviour of the ECU during starting, idling and normal operation. First, the cranking-related settings are configured. Once the engine can start consistently, the engine idle is adjusted. Finally, the car is driven and the behaviour in operation is adjusted. The main setting is the motor volumetric efficiency table. With this table, the control unit calculates the amount of fuel it must inject. The table describes the volumetric efficiency with respect to engine speed and intake pressure. The table is adjusted until the engine maintains a constant stoichiometric air fuel ratio under all conditions.

	650	800	1100	1400	1700	2000	2300	2600	2900	3200	3500	4000	4500	5200	6000	7000
108	102.3	103.8	103.8	99.7	98.5	100.1	101.5	102.9	102.9	104.4	105.7	107.3	108.7	110.0	108.7	108.7
102	102.3	100.5	100.5	104.0	108.4	100.1	101.5	102.9	102.9	104.4	105.7	107.3	108.7	110.0	108.7	108.7
96	111.8	110.0	105.0	100.0	91.9	95.6	89.4	92.1	89.8	91.3	92.5	93.9	97.5	100.0	98.8	98.8
90	108.8	110.0	107.0	100.0	96.5	100.4	93.9	96.6	89.8	91.3	92.5	93.9	97.5	100.0	98.8	98.8
84	107.4	120.0	120.0	100.0	96.5	95.0	93.4	96.0	88.0	90.4	91.6	93.0	96.6	90.0	88.9	98.8
78	100.0	131.1	131.1	101.3	95.0	93.0	92.8	100.6	97.0	90.4	91.6	93.0	96.6	90.0	88.9	98.8
72	100.0	135.8	132.2	103.3	100.6	101.6	101.7	99.3	90.5	87.8	89.1	90.4	93.8	87.8	88.9	98.8
66	100.0	124.6	129.1	104.5	100.8	100.8	95.9	101.0	98.0	88.6	96.0	99.0	84.2	86.5	85.3	94.8
60	100.0	124.9	127.3	100.4	90.0	96.6	94.6	94.6	92.7	83.8	90.8	86.8	77.3	79.6	82.5	91.7
54	96.4	97.4	110.9	108.4	90.0	98.0	89.6	89.6	86.1	82.0	89.3	86.7	85.0	87.6	77.9	86.5
48	87.8	88.7	103.5	102.0	98.7	100.1	100.2	89.7	86.0	86.6	94.3	91.6	86.1	87.6	81.3	90.3
43	77.9	82.5	91.8	104.4	93.5	94.1	97.4	83.4	73.3	81.2	79.0	75.9	76.0	77.2	72.7	80.8
38	71.9	70.4	74.0	84.9	75.0	80.0	85.0	69.0	55.1	65.2	62.5	60.0	70.2	70.2	78.0	
34	61.5	63.7	66.5	72.1	71.0	70.0	69.0	66.7	55.3	66.8	62.6	67.8	71.4	71.4	67.1	67.1
30	49.9	50.3	61.5	68.9	53.8	65.2	64.2	57.8	58.0	59.6	55.7	54.2	57.0	60.2	52.3	52.3
20	49.5	49.9	58.0	61.0	49.8	49.6	54.5	54.2	50.2	54.2	55.7	54.2	57.0	60.2	52.3	52.3
L	650	800	1100	1400	1700	2000	2300	2600	2900	3200	3500	4000	4500	5200	6000	7000

Illustration 9: Volumetric efficiency table

4. Results

In the official vehicle inspection (ITV) of passenger cars powered by gasoline, a carbon monoxide (CO) emissions test is carried out at idle. The car for this project produced 1.83% CO emissions. Using the fuel air ratio and the graph shown in the next illustration, the engine emissions are estimated after the conversion to electronic fuel injection. Approximate engine emissions are 0.8% CO. Furthermore, since the ECU is capable of maintaining a stable air-fuel ratio throughout its operation, the engine produces these emissions in all situations. The carburettor enriched the mixture under acceleration, increasing CO emissions.

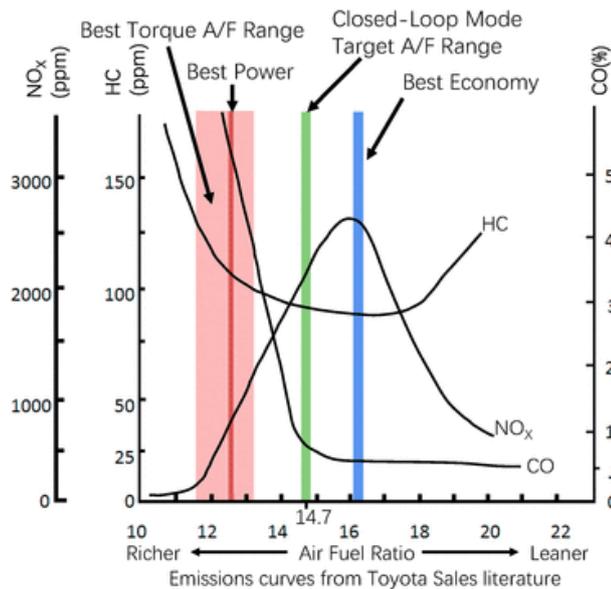


Illustration 10: Emissions graph depending on air-fuel ration.

Highway fuel consumption has been calculated. The fuel tank is filled, a sufficiently long distance is travelled so that the inaccuracies are small, more than 350km, and the tank is

refuelled. With the distance and the consumption, the consumption relative to the distance is calculated. When the engine was carburetted, consumption was 6.9 l/100km. After the conversion to electronic fuel injection, the car consumes 6.1 l/100km on the highway.

Finally, an increase in comfort and ease of use has been achieved. When the engine had the carburettor installed, if it was started cold, it was necessary to activate the starter choke to enrich the mixture. Also, if the car had been sitting still for several days, the mechanical fuel pump had to refill the carburettor, which took over 10 seconds trying to start. The control unit is responsible for adjusting the behaviour of the engine to facilitate starts without driver intervention. Cold starts have been shortened and cranking when the car has been sitting for several days take the same time, thanks to the electric fuel pump. The control unit also controls the idle once the car has started, keeps it high after starting and reduces the speed of the engine as it warms up.

5. Conclusions

The control of the ECU and the continuous adjustments that it is capable of making, have achieved a reduction in carbon monoxide emissions and a slight reduction in fuel consumption. In addition, the usability of the car has been increased, especially for drivers not used to the needs of older vehicles.

This project serves as the basis for the possible future installation of a three-way catalyst converter. These catalytic converters are effective in reducing emissions of carbon monoxide, hydrocarbons and nitrogen oxides, and require the engine to run at a very precise stoichiometric mixture, which is achieved by the exhaust oxygen sensor and closed-loop control.

6. References

- [1] Payri, F., J. M. Desantes, "Motores de combustión interna alternativos", Barcelona 2011.
- [2] Deatschwerks injectors fuel Flow calculator, <https://deatschwerks.com/pages/fuel-injector-calculator>
- [3] HP 3D High Reusability PA 12 Datasheet, https://solitium.es/pdf/Impresora_3D/HP_3D_Datasheet_PA_12_Solitium.pdf
- [4] Wong, Pak-Kin; Gao, Xiang; Wong, Ka In; Vong, Chi-Man; Yang, Zhi-Xin, "Initial-training-free online sequential extreme learning machine based adaptive engine air-fuel ratio control", International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 2019.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	7
1.1 Motivación del proyecto.....	8
Capítulo 2. Estado de la Cuestión	9
Capítulo 3. Definición del Trabajo	11
3.1 Justificación.....	11
3.2 Objetivos	12
3.3 Metodología.....	12
3.4 Planificación y Estimación Económica.....	13
Capítulo 4. Diseño, fabricación e instalación de la conversión.....	15
4.1 Cálculos.....	15
4.1.1 Combustible.....	15
4.1.2 Aire	17
4.2 Selección de Componentes.....	18
4.2.1 Centralita.....	18
4.2.2 Inyectores	19
4.2.3 Rail de Combustible y Regulador de Presión.....	21
4.2.4 Mariposa	22
4.2.5 Bomba de Combustible.....	23
4.2.6 Bobinas.....	23
4.2.7 Sensores.....	24
4.3 Funcionamiento con encendido controlado electrónicamente.....	27
4.3.1 Centralita.....	27
4.3.2 Bobinas.....	28
4.3.3 Distribuidor	32
4.3.4 Cables de bujías	36
4.3.5 Caja de fusibles y relés.....	38
4.3.6 Circuitos eléctricos.....	40
4.3.7 Programación.....	45
4.3.8 Prueba de funcionamiento.....	49

4.4	Funcionamiento con encendido e inyección controlado electrónicamente	56
4.4.1	<i>Colector de admisión</i>	56
4.4.2	<i>Mariposa</i>	63
4.4.3	<i>Circuito de combustible</i>	66
4.4.4	<i>Circuito refrigerante</i>	72
4.4.5	<i>Sensor de contenido de oxígeno en el escape</i>	73
4.4.6	<i>Circuitos eléctricos</i>	74
4.4.7	<i>Programación</i>	81
Capítulo 5. Análisis de Resultados		95
5.1	Consumo de combustible	95
5.2	Emisiones de monóxido de carbono	96
5.3	Usabilidad, comodidad y fiabilidad.....	98
5.4	Coste de las modificaciones	100
Capítulo 6. Conclusiones y Trabajos Futuros		101
6.1	Trabajos futuros.....	102
Capítulo 7. Bibliografía		103
ANEXO 105		
	Objetivos de desarrollo sostenible	105
	<i>Objetivo 12: producción y consumo responsables</i>	105
	<i>Objetivo 13: acción por el clima</i>	105
	Planos de los componentes diseñados.....	106

Índice de figuras

Figura 1: Kit de conversión marca Holley.....	9
Figura 2: Cálculo web de inyectores	15
Figura 3: Soporte de la centralita.....	27
Figura 4: Centralita montada en el soporte.....	28
Figura 5: Prototipos de los refuerzos	29
Figura 6: Soporte para bobinas.....	30
Figura 7: Refuerzo del soporte	30
Figura 8: Escudo térmico para bobinas	31
Figura 9: Estructura de soporte de bobinas completa.....	32
Figura 10: Sensor de posición del árbol de levas	34
Figura 11: Tapa del distribuidor con sensor	35
Figura 12: Rueda fónica y espaciador	36
Figura 13: Terminal para distribuidor original (der) y terminal para bobina nueva (izq)	37
Figura 14: Troquel y terminal.....	38
Figura 15: Soporte de la caja de fusibles y relés	39
Figura 16: Panel divisor de guantera	39
Figura 17: Puente para fijación del reloj	40
Figura 18: Diagrama eléctrico para el encendido electrónico	41
Figura 19: Centralita con conexiones eléctricas	43
Figura 20: Conector de bobina[10].....	45
Figura 21: Ajustes básicos del motor	47
Figura 22: Ajustes de límites	48
Figura 23: Configuración de la sincronización	49
Figura 24: Gráfico de impulsos	51
Figura 25: Nueva rueda fónica de 8 dientes	52
Figura 26: Lámpara de Luz Estroboscópica.....	53

Figura 27: Marcas de sincronización del encendido	54
Figura 28: Tabla de avance del encendido	55
Figura 29: Unión del colector a la culata.....	57
Figura 30: Unión del colector a la mariposa.....	58
Figura 31: Elementos auxiliares instalados en el colector.....	59
Figura 32: Geometría fija en el estudio estático	59
Figura 33: Geometría con restricción deslizante	60
Figura 34: Cargas externas para la simulación	60
Figura 35: Tensiones resultantes del análisis	61
Figura 36: Colector de admisión instalado en la culata.....	62
Figura 37: Mariposa original de Mazda MX-5.....	63
Figura 38: Mariposa antes de las modificaciones.....	64
Figura 39: Mariposa después de las modificaciones	64
Figura 40: Mariposa con accesorios instalados	65
Figura 41: Mariposa con adaptador para filtro de aire	66
Figura 42: Rail de combustible con los inyectores.....	67
Figura 43: Tapa para bomba mecánica de gasolina.....	67
Figura 44: Bomba de combustible.....	69
Figura 45: Diagrama del circuito de combustible	72
Figura 46: Colector de admisión original	72
Figura 47: Cambios al circuito refrigerante.....	73
Figura 48: Diagrama eléctrico de actuadores para inyección electrónica	74
Figura 49: Transformador DC/DC para USB.....	75
Figura 50: Cargador USB colocado en el cenicero	76
Figura 51: Diagrama eléctrico de sensores para inyección electrónica.....	77
Figura 52: Calibración del sensor de posición de mariposa	79
Figura 53: Sensor de temperatura del refrigerante con conector.....	80
Figura 54: Configuración de los inyectores.....	81
Figura 55: Tabla VE	83
Figura 56: Tabla AFR.....	84

Figura 57: Ajustes para el arranque del motor	84
Figura 58: Gráfica de ajuste del combustible de arranque	86
Figura 59: Ajuste de la válvula del ralentí.....	87
Figura 60: Gráfica de régimen de giro al ralentí	88
Figura 61: Tabla VE ajustada	91
Figura 62: Tabla enriquecimiento por posición del acelerador	92
Figura 63: Casillas no estacionarias tabla VE	93
Figura 64: Ajustes para corte de combustible en deceleración	94
Figura 65: Emisiones de gases contaminantes dependiente de AFR[17].....	97

Índice de tablas

Tabla 1: Tareas y fechas de finalización programadas.....	13
Tabla 2: Estimación del coste de los principales componentes.....	14
Tabla 3: Resultados del flujo para los inyectores (Deatschwerks).....	16
Tabla 4: Resultados del flujo para los inyectores (Canton Racing)	17
Tabla 5: Datos y resultado del cálculo del flujo de aire	18
Tabla 6: Resultados del cambio de mariposa	22
Tabla 7: Calibración del sensor de presión de admisión	78
Tabla 8: Calibración del sensor de temperatura de la admisión	78
Tabla 9: Calibración del sensor de temperatura del refrigerante.....	80
Tabla 10: Costes de los componentes usados en el proyecto en €	100

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

Antiguamente, la mayor parte de los vehículos impulsados por motores de gasolina usaban un carburador para realizar la mezcla de aire y combustible. Debido principalmente a las normativas que limitan las emisiones de los vehículos que circulan por las carreteras, los carburadores se dejaron de instalar en favor de sistemas de inyección. Sin embargo, los vehículos que montaban originalmente un carburador siguen usando habitualmente esta tecnología, pese a existir mejores alternativas. Mediante los sistemas de inyección de combustible, los vehículos modernos producen menos emisiones de gases contaminantes, consiguen mejores prestaciones y son más fiables y fáciles de usar por parte de los conductores.

Al convertir un motor de un vehículo antiguo de carburación a inyección se podrían obtener parte de los beneficios nombrados anteriormente además de modernizar un vehículo antiguo para permitir su uso y su conservación en buen estado de funcionamiento.

En la actualidad existen un número considerable de empresas que se dedican a modificar coches antiguos. Estas empresas forman parte de una industria relativamente reciente, que se dedica a modificar coches antiguos en vez de únicamente restaurarlos. Esta corriente se denomina restomod, y modifican los coches en busca de mayores prestaciones, una modernización o una conversión a vehículo eléctrico, entre otros. La empresa que resalta es Singer, que sobre un Porsche antiguo realiza una restauración, modificando y mejorando cada aspecto del coche. El motor se sustituye por uno nuevo, especialmente diseñado para el coche, la carrocería se sustituye por una fabricada en material compuesto de fibra de carbono y cada detalle del coche está personalizado para el propietario.

Otras empresas se dedican a instalar mecánicas eléctricas en vehículos antiguos. En este proceso se eliminan todos los sistemas relacionados con el motor de combustión original y se instalan todos los componentes necesarios para un vehículo eléctrico de baterías. Para algunos coches, esta es una modificación que aumenta la fiabilidad y la usabilidad del

vehículo, además de convertirlo en un coche mucho más responsable medioambientalmente en comparación con el tren de potencia original. Este tipo de restomod es especialmente adecuado para vehículos que sufren de problemas de fiabilidad con sus motores de combustión y tienen el espacio y la capacidad de carga para instalar una batería.

El objetivo de los restomod es conseguir un vehículo de apariencia antigua con las ventajas de incluir los avances tecnológicos realizados desde su fabricación, para permitir al propietario poder disfrutar con más frecuencia y sin problemas de fiabilidad de su vehículo.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto pretende trasladar la fiabilidad y la facilidad de uso de los modernos sistemas de inyección a un coche clásico, mediante la restauración de algunos sistemas del vehículo y la modificación de otros. La parte principal del proyecto es la instalación de un sistema de inyección multipunto en un Peugeot 205 GTX. Se ha optado por la conversión de carburación a inyección en lugar de la instalación de un sistema de propulsión eléctrico. La instalación de una batería suficientemente grande supondría la pérdida del carácter ligero y ágil del coche, al tratarse de un vehículo de 850kg de peso. Además del aumento de peso por las baterías, cambiar el motor de combustión original del 205 GTX por uno eléctrico conlleva la pérdida de una parte integral de la originalidad de un vehículo antiguo y parte de la esencia de este coche. El Peugeot 205 GTX es una versión deportiva del exitoso Peugeot 205 y una conversión eléctrica eliminaría el sonido y las sensaciones que transmite el motor Talbot J2 y el cambio manual de 5 velocidades montado originalmente. Esta versión del Peugeot 205 se vendió exclusivamente en el mercado español y tiene un motor de 1.6 litros de capacidad proveniente de Talbot, empresa propiedad de Peugeot en la época. Es un motor de carburación, que desarrolla 94 cv a 5700 rpm y 127 Nm a 4000 rpm. Esta versión del 205 es similar al famoso 205 GTi 1.6, pero con un coste menor debido a tener un motor y suspensión más básicos.

Capítulo 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Existen varias empresas que fabrican kits para cambiar el carburador de algunos motores por un sistema de inyección. Sin embargo, estos kits que se instalan en la posición que ocupaba el carburador son de inyección monopunto, que tienen una eficiencia y emisiones peores por no poder controlar la mezcla con tanta precisión o velocidad como los sistemas multipunto, que tienen un inyector para cada cilindro. En la Figura 1, se muestra uno de estos kits de la marca Holley [5], para sustituir un carburador por una mariposa con inyectores.



Figura 1: Kit de conversión marca Holley

En proyectos donde no existe un kit de transformación a inyección, si existe alguna versión del mismo motor que emplease inyección se usan estas piezas para instalarlas en el motor sin necesidad de modificaciones. Piezas como el colector de admisión son especialmente complejas en los motores de inyección. También es necesario cambiar la mariposa de admisión e instalar inyectores, sensores y centralita. Todos estos componentes es posible traspasarlos de una versión inyectada a una carburada del mismo motor sin necesidad de modificaciones. Antes del año 1990 se vendían coches que tenían la opción de montar

carburador o inyección para el mismo motor. Un ejemplo es el BMW Serie 3 316, que en 1988 tenía disponibles versiones de carburación e inyección sobre el mismo motor.

Sin embargo, para motores que no tienen una versión de inyección, este planteamiento no es posible y es necesario buscar piezas de otros coches o diseñar y fabricar piezas completamente únicas para el proyecto, que juntas formen el nuevo sistema de alimentación del motor.

Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

3.1 JUSTIFICACIÓN

El uso de sistemas de inyección en motores de gasolina previo a 1990 era infrecuente, generalmente reservado a coches de lujo o de altas prestaciones. Debido a esto, el número de coches de gasolina con sistemas de inyección antes de 1990 era muy bajo.

Según la Dirección General de Tráfico, DGT, en la estadística anual del año 2020 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** el 8% de los turismos en el parque móvil español tenían más de 30 años de antigüedad. El total de turismos en España en 2020 era de 24,7 millones de coches. También según este documento, el 89% de los turismos en 1990 estaban movidos por gasolina. Suponiendo que los turismos de 1990 aun presentes en las carreteras siguen con la misma proporción de combustibles que hace 30 años, esto significa que se estima que aun circulan 1,8 millones de turismos con motores de gasolina con más de 30 años.

Muchos de estos coches usan carburadores y se pueden convertir a inyección. Sin embargo, para la mayor parte de ellos no existe una versión de inyección de sus motores ni un kit de conversión a inyección, de modo que para la conversión sería necesario diseñar y fabricar un sistema personalizado para cada modelo. Este es el caso que se va a desarrollar en este proyecto con un Peugeot 205 GTX. Del Peugeot 205 existe la versión deportiva GTI, con motores de 1,6 y 1,9 litros de inyección. Sin embargo, del motor J2 fabricado por Talbot, instalado en la versión GTX, no existe ninguna versión con inyección de combustible. Según el manual de servicio para el Peugeot 205, la versión GTX tiene unas emisiones de monóxido de carbono (CO) de entre 0,5 y 2 %.

El vehículo concreto que se va a emplear en este proyecto pasó una inspección en septiembre de 2022. Parte de la inspección técnica de vehículos (ITV) para turismos con motor de gasolina es una prueba de composición de gases de escape al ralentí. El valor de

concentración de CO determina si el vehículo pasa la prueba. Los turismos de gasolina sin catalizador matriculados después de 1986 necesitan producir menos de un 3,5 % de CO en los gases de escape al ralentí. El coche utilizado para este proyecto y con los ajustes del carburador que tenía cuando se compró, tiene un % de CO en los gases de escape.

3.2 OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es la conversión de un Peugeot 205 GTX de carburación a inyección. Con esto se pretende modernizar el coche para facilitar su uso con mayor frecuencia. La centralita que se va a instalar y programar permitirá que el coche sea más fiable y se ajuste mejor a las distintas situaciones. Debería mejorar especialmente la facilidad para arrancar el coche en frío, el funcionamiento justo después del arranque y las emisiones de gases contaminantes.

Además de la conversión a inyección, se instala también un sistema de encendido electrónico que sustituye el distribuidor por bobinas individuales para cada cilindro. Se estimarán las emisiones producidas por el motor y se compararán con el sistema original del motor con el objetivo de obtener una mejora. También se instala un cargador USB, un componente habitual de los coches modernos que permite recargar dispositivos electrónicos.

3.3 METODOLOGÍA

Debido a que el coche sobre el que se realiza este proyecto no es nuevo, es necesario realizar una restauración de algunos componentes previa a la realización del proyecto. El objetivo es reparar el coche para que pase la inspección técnica de vehículos (ITV).

En primer lugar, se realizan los cálculos necesarios para poder seleccionar los componentes adecuados para el motor del proyecto. Con los datos obtenidos en los cálculos previos se seleccionan los componentes más adecuados para este proyecto, teniendo en cuenta, entre

otros, la disponibilidad de los componentes, el coste de estos y la documentación de la que se dispone.

A continuación, se diseñan las piezas necesarias para instalar los componentes seleccionados en el vehículo. Estas piezas serán fabricadas posteriormente en chapa metálica o fabricación aditiva. Tras la instalación de las piezas fabricadas y los componentes seleccionados, se fabrica el cableado del sistema y se instala la centralita de control. Por último, se programa la centralita, se ajustan los parámetros necesarios y se prueban los resultados.

3.4 PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

En la Tabla 1 se muestra un resumen de las tareas a realizar, junto con la fecha de finalización programada de la tarea.

Cálculos Previos	20-sep
Selección de Componentes	01-oct
Tapa de Distribuidor	15-nov
Rueda fónica	20-nov
Soporte de Bobinas	30-nov
Instalación ECU	10-dic
Instalación Caja de Fusibles	15-dic
Instalación Cortacorrientes y Reloj AFR	20-dic
Instalación de Wideband sensor	01-ene
Cableado para Encendido	15-ene
Programación ECU	20-ene
Pruebas Encendido	30-ene
Fabricación Admisión	01-mar
Instalación Mariposa	10-mar
Adaptador Mariposa-Filtro	25-mar
Circuito de Combustible	10-abr
Cableado para Inyección	01-may
Programación ECU	10-may
Pruebas Inyección	25-may
Cargador USB	05-jun

Tabla 1: Tareas y fechas de finalización programadas

En la Tabla 2 se muestra la estimación del coste en euros de los principales componentes de la conversión.

Centralita	350
Cableado	100
Sensores	250
Inyectores y rail de combustible	80
Bobinas, cables de encendido y bujías	180
Bomba de combustible	50
Circuito de combustible	40
Caja de fusibles y relés	50
Material de fabricación aditiva	100
Materiales diversos (tornillos, bridas, remaches, etc)	125

Tabla 2: Estimación del coste de los principales componentes

El coste total de la conversión sería de 1325€. Estos costes son una estimación previa a la obtención de los componentes y se revisará el coste total en el apartado de resultados.

Capítulo 4. DISEÑO, FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE LA CONVERSIÓN

4.1 CÁLCULOS

4.1.1 Combustible

En primer lugar, es necesario calcular el flujo de combustible necesario para el motor para seleccionar los inyectores adecuados. Para este resultado existen algunas páginas web que realizan el cálculo. Deatschwerks es un fabricante de componentes para sistemas de combustible para coches modificados. En su página web [3] tienen un calculador que, introduciendo algunos datos del motor, devuelve el tamaño de inyector adecuado para esa aplicación. Si se introduce los datos originales del motor, se obtiene que los inyectores deberían fluir como mínimo 129 cc/min de combustible para que el ciclo de trabajo no supere el 85%, que es el ciclo máximo recomendado para un correcto control del motor.

Fuel Injector Calculator

Target Crank	95	HP
# of Injectors	4	
Induction Type	Naturally Aspirat	
Fuel Type	Gasoline	
BSFC Value (optional)		
Max Duty Cycle %	85	
Injector Flow	129	cc/min

Figura 2: Cálculo web de inyectores

Se va a usar el regulador de presión que se instalaba con los inyectores originalmente, de modo que no es necesario corregir el flujo de los inyectores por un cambio de presión. Como el dato de flujo con el que se pueden comparar los inyectores está en g/min, se calcula con la densidad de la gasolina 103[12], el flujo en las nuevas unidades mediante la siguiente fórmula:

$$\dot{M} = \rho Q$$

Donde \dot{M} es el flujo másico, ρ es la densidad de la gasolina y Q es el caudal. Para la densidad de la gasolina se toma el valor medio entre el máximo y mínimo admitidos.

Q	129	cc/min
ρ	0,7475	g/cc
\dot{M}	96,43	g/min

Tabla 3: Resultados del flujo para los inyectores (Deatschwerks)

Estos resultados están muy condicionados por las suposiciones que se han realizado en la página web y pueden estar muy alejados de la realidad.

En la página web del distribuidor de productos para competición Canton Racing Products [4] se muestran los pasos del proceso de cálculo empleado para obtener el flujo de los inyectores requeridos para un motor. La base para este cálculo es el flujo de combustible que el motor necesita para producir un cv, caballo de vapor. Como la página web es de una empresa americana se hace refieren a esto como BSFC o Brake-Specific Fuel Consumption. A partir de este dato, se desarrolla el flujo de combustible que tiene que aportar cada inyector. La página indica que para un motor de gasolina el valor de flujo habitual es de entre 0,45 y 0,5 libras de gasolina por hora y caballo de potencia. Debido a la antigüedad y el uso del motor se supone que el flujo de combustible necesario tendrá que ser mayor respecto al propuesto. Para el cálculo del flujo de combustible se usan las siguientes fórmulas:

$$\dot{M} = \frac{BSFC * P}{N}$$

Donde \dot{M} es el flujo másico, $BSFC$ es Brake-Specific Fuel Consumption, P es la potencia que desarrolla el motor y N es el número de inyectores. Sin embargo, como los valores para $BSFC$ están en unidades imperiales, es necesario un cambio de unidades para poder buscar el inyector adecuado.

$$\dot{M} \left[\frac{g}{min} \right] = \frac{BSFC \left[\frac{lbs}{hp * h} \right] * 453,59 \left[\frac{g}{lb} \right] * \frac{1}{60} \left[\frac{h}{min} \right] * P [hp]}{N}$$

En la Tabla 4 se muestran los resultados.

<i>BSFC</i>	0,6	lbs/(hp*h)
<i>P</i>	95	hp
\dot{M}	107,73	g/min

Tabla 4: Resultados del flujo para los inyectores (Canton Racing)

Este valor de flujo de combustible es en modo continuo, lo que significaría que el inyector está abierto constantemente. Como se ha comentado anteriormente, el ciclo de trabajo de los inyectores no debe superar el 85%. Para calcular el flujo másico con un ciclo de trabajo se aplica esta fórmula:

$$\dot{M} = \dot{M}_1 / DC$$

Donde \dot{M} es el flujo másico final de los inyectores, \dot{M}_1 es el flujo necesario para el motor y *DC* es el ciclo de trabajo (Duty Cycle).

Si se aplica un ciclo de trabajo máximo de 70%, el flujo másico de los inyectores sería 153,9 g/min. Este es el flujo aproximado que se buscará en los inyectores para este proyecto.

4.1.2 Aire

El flujo de aire que va a requerir el motor es más sencillo de calcular. Este dato será de relevancia a la hora de realizar las simulaciones de flujo al nuevo colector de admisión. Para obtenerlo, es necesario conocer el volumen del motor, el régimen de giro y la eficiencia volumétrica del motor. El volumen del motor es un dato conocido, 1592 cm³. El régimen de giro para el que se quiere conocer el flujo de aire es el régimen máximo del motor, ya que esta será la situación más desfavorable para el diseño. El régimen de giro máximo para este motor son 6500 rpm. La eficiencia volumétrica no es un dato disponible para este motor. Sin embargo, los motores de gasolina suelen tener una eficiencia volumétrica de entre 0,7 y 0,8, por lo que para este cálculo se usará 0,8, la más desfavorable. La eficiencia volumétrica mide

la diferencia entre la cantidad de aire que podría aspirar el motor y la que realmente entra en los cilindros debido a pérdidas, principalmente en la admisión y las válvulas.

El flujo se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$Q = \frac{v * n * E_v}{2}$$

Donde Q es el caudal, v es el volumen del motor, n es el régimen de giro y E_v es la eficiencia volumétrica. El resultado se divide entre 2, ya que hay un ciclo de admisión cada dos revoluciones del motor.

En la Tabla 5 se muestran los datos y el caudal resultante a máximo régimen. Se estima que la eficiencia volumétrica de este motor estará en torno a 0,8 a máximo régimen.

v	1592	cc
n	6500	rpm
E_v	0,8	
Q	4139200	cc/min

Tabla 5: Datos y resultado del cálculo del flujo de aire

El motor consume 4140 litros de aire por minuto a máximo régimen.

4.2 SELECCIÓN DE COMPONENTES

4.2.1 Centralita

Las centralitas disponibles se dividen en 3 categorías principales: de serie, plug & play y genéricas. Las centralitas de serie son las que se encuentran en los coches tal y como salen de la fábrica. Estas centralitas no se pueden programar ni modificar sus entradas y salidas. Las centralitas plug & play son centralitas programables que permiten modificar el comportamiento del motor, pero se enchufan directamente en los conectores de la centralita de serie, de ahí su nombre. Si se dispone de la opción de adquirir una de estas es lo más

recomendable para modificar un coche. Las centralitas genéricas se pueden conectar a cualquier motor y sus entradas y salidas son programables por el usuario. Al ser un coche con motor de carburación, no dispone de una centralita de control de motor y para poder convertirlo a inyección se va a emplear una centralita completamente programable genérica de RusEFI, el modelo Microrusefi. Esta centralita está diseñada para controlar motores de entre 1 y 4 cilindros con inyección y encendido secuenciales. Esto significa que se puede controlar el inyector y la bujía de cada cilindro independientemente.

4.2.2 Inyectores

A la hora de seleccionar el inyector adecuado, es necesario tener en cuenta esencialmente el flujo de los inyectores disponibles. Si este tiene un flujo inferior al requerido, el motor no podrá desarrollar toda la potencia que podría. Además, y más peligroso, un motor que recibe menos combustible del necesario tiene una mezcla pobre durante la combustión. Una mezcla pobre es cuando hay un exceso de aire respecto a la mezcla estequiométrica, en la que todo el combustible podría ser quemado sin que quede combustible sin quemar u oxígeno libre. El resultado de esta mezcla pobre es una temperatura superior de la combustión, que puede provocar un sobrecalentamiento de los componentes de la cámara de combustión. Esta temperatura excesiva puede provocar el fallo de los pistones, además de propiciar la aparición de autoinflamación. La autoinflamación es la quema de la mezcla de aire y combustible sin la intervención de la bujía. Esta combustión incontrolada es muy dañina para el motor y puede provocar un fallo catastrófico del motor en muy poco tiempo. Si los inyectores están muy sobredimensionados para el motor, en condiciones de bajo flujo de combustible, la mezcla no se formará adecuadamente. Es situaciones como con el motor al ralentí o a baja carga, como el flujo de combustible es bajo, los inyectores solo necesitan abrirse un periodo muy corto. Durante el proceso de apertura y cierre de los inyectores, la pulverización del combustible no es la adecuada y al no estar inyectando durante todo el tiempo que la válvula de admisión se encuentra abierta, hay aire que no tiene combustible mezclado antes de entrar en el cilindro. Esto resulta en una mezcla no uniforme que provoca

emisiones elevadas y peor eficiencia del motor. En las partes ricas de la mezcla se forma más monóxido de carbono e hidrocarburos y en las partes pobres se forma más óxidos de nitrógeno durante la combustión. Todos estos productos son contaminantes para la atmósfera y tienen efectos perjudiciales para la salud.

La centralita usada solo acepta inyectores de alta impedancia (10-14 Ohm). Los inyectores usados en port injection suelen ser de alta impedancia, de modo que casi cualquier inyector para port injection moderno sería válido para su uso con la centralita seleccionada. Existen dos tipos de sistemas de inyección, diferenciados por la posición de los inyectores. Los sistemas port injection inyectan el combustible en el aire de la admisión, antes de la válvula de admisión. Estos sistemas funcionan con inyectores de alta impedancia y el combustible se encuentra a baja presión, en torno a 4 bares. El otro tipo de inyección, la inyección directa, inyecta el combustible en la cámara de combustión, utiliza inyectores de baja impedancia y el combustible se encuentra a alta presión.

Los inyectores BOSCH 0-280-156-070, usados en el Audi A4 con motor 1.8T de 163cv tienen un flujo de combustible de 189,7 g/min y son de alta impedancia. El flujo de estos inyectores excede el mínimo necesario estimado para el funcionamiento correcto del motor, pero no tienen un flujo excesivo para que el ralentí del motor sea inadecuado. Al instalar estos inyectores en el motor, sobre la base de los cálculos realizados anteriormente, se obtiene el ciclo de trabajo de los inyectores seleccionados mediante la siguiente fórmula.

$$DC = \frac{\dot{M}_{Motor}}{\dot{M}_{Iny}} = \frac{107,7}{189,7} = 56,7\%$$

Donde DC es el ciclo de trabajo, \dot{M}_{Motor} es el flujo necesario según los cálculos anteriores y \dot{M}_{Iny} es el flujo máximo entregado por los inyectores. El ciclo de trabajo resultante es de 56,7%, inferior al máximo sugerido de 85%. Además, este ciclo de trabajo permitirá realizar las inyecciones en su mayoría durante el ciclo de admisión, para reducir el consumo de combustible y reducir emisiones.

4.2.3 Rail de Combustible y Regulador de Presión

La centralita ajusta el flujo de combustible en cada ciclo del motor mediante la duración y punto de la inyección. Para que la cantidad de combustible inyectada sea precisa, la presión del combustible debe permanecer constante y esta es la tarea del regulador de presión. El regulador ajusta la presión dejando escapar el combustible sobrante al conducto de retorno, bajando la presión producida por la bomba de combustible. Para que el flujo sea más preciso, la presión del rail se ajusta con la presión del colector de admisión. La presión del colector de admisión varía constantemente con la apertura de la mariposa y el régimen de giro del motor. Debido a la variación en la diferencia de presiones entre el rail y el colector, el flujo sería impreciso. Para remediarlo, el regulador tiene una tubería de vacío conectada que regula la presión en el rail, manteniendo constante la diferencia de presión entre el colector de admisión y el rail de combustible.

Debido a que el rail de combustible tiene que estar a presión, tiene que sellar contra los inyectores y el combustible es muy inflamable en caso de una fuga o rotura del rail, es preferible usar un rail ya existente que fabricar uno a medida para este proyecto. Además, el coste de fabricar un rail a medida sería muy superior en comparación con el rail original de los inyectores. El rail de combustible instalado en el Audi A4 para los inyectores seleccionados tiene integrado el regulador de presión del rail de combustible adecuado para los inyectores seleccionados. Aunque la separación de los puertos de admisión del motor del Audi y del motor del Peugeot no son iguales, pero tienen una desviación baja. Los inyectores tienen una separación de 87,6 mm y los puertos de la admisión en la culata tienen una separación de 85,5 mm. Por lo tanto, los inyectores no estarán centrados en los recorridos de la admisión, pero no debería suponer un problema para el funcionamiento adecuado de la inyección.

4.2.4 Mariposa

Como se va a retirar el carburador, es necesario instalar una mariposa nueva para controlar el grado de carga del motor del coche. Para poder emplear el cable del acelerador y el pedal originales del coche, que usaba el carburador, es necesario que la mariposa nueva también funcione con un cable. Con el cambio de la industria del automóvil de carburador a inyección, las mariposas empezaron a ser controladas por un actuador electrónico a través de la centralita y un sensor de posición del pedal. Por este motivo, existen pocos vehículos que usaran una mariposa que sea accionada mediante un cable y es complicado encontrar estos componentes. La mariposa de un Mazda MX-5 de segunda generación es perfecta para este proyecto, ya que el motor de este coche es también de 1.6L como el motor del 205. Además, esta mariposa tiene incorporado el sensor de posición de la mariposa y la válvula del control del ralentí, que son necesarios para el control del motor por parte de la centralita y simplificarán el diseño del colector de admisión.

El cambio de la mariposa también cambia la sección de la admisión del motor. El carburador Weber de doble cuerpo tiene dos entradas de aire de 35mm de diámetro. La nueva mariposa de Mazda tiene un diámetro de 55mm. Mediante la siguiente fórmula se calcula el área de las mariposas.

$$A = n * \pi * \frac{d^2}{4}$$

Donde A es el área, n es el número de conductos y d es el diámetro de cada conducto.

	Carburador Weber	Mariposa Mazda	Unidades
d	35	55	mm
n	2	1	
A	1924,23	2375,83	mm ²

Tabla 6: Resultados del cambio de mariposa

La nueva mariposa de Mazda que se va a instalar tiene una superficie 23% superior. El aumento de sección de la admisión reduce la pérdida de carga en los conductos y aumenta la cantidad de aire aspirado por el motor y la eficiencia volumétrica de los cilindros. Esta

diferencia será más apreciable cuando el motor esté a un régimen alto y el acelerador en las posiciones más abiertas.

4.2.5 Bomba de Combustible

La bomba original del Peugeot 205 es mecánica, accionada por el árbol de levas del motor, y consigue la acción de bombeo mediante diafragmas. Esta bomba no es posible utilizarla para el sistema de inyección. Es necesario tener presión con el motor parado para reducir los tiempos de arranque y poder tener presión abundante en funcionamiento. Además, este tipo de bombas no producen la presión necesaria para el funcionamiento de los inyectores. Para un motor carburado este tipo de bombas es perfectamente usable ya que el carburador tiene una reserva de combustible siempre disponible, incluido en el arranque y no necesita que el combustible se entregue a presión. Debido a que el coche no dispone de una bomba de combustible eléctrica en el tanque, como los coches modernos, o en la línea de alimentación al motor, es necesario añadir una. Se va a instalar una bomba de combustible eléctrica STARK SKFP-0160001 en línea originalmente usada en un Mercedes-Benz 280 SEL (W116). La mayoría de las bombas de combustible tienen conexiones específicas para el coche que las usa. Este modelo tiene conexiones universales, que facilitan la instalación en este proyecto. La bomba es capaz de aportar una presión de 6,5 bar y un caudal de 100 l/h. Como los inyectores trabajan a una presión de 3,5 bar y el caudal máximo a esa presión sería 45,6 l/h, la bomba seleccionada es capaz de aportar la presión y caudal necesario para el funcionamiento de los inyectores.

4.2.6 Bobinas

Se va a instalar un sistema de encendido completamente secuencial. En este tipo de sistemas de encendido, cada cilindro tiene una bobina para su bujía. Otro tipo de sistemas sería de chispa perdida, wasted spark. En estos sistemas, cada bobina controla varias bujías. La chispa se envía a un cilindro que provoca encendido, pero también a otros que no se

encuentran preparados para una explosión y la chispa se pierde. Aunque para un sistema de chispa perdida se necesiten solo 2 bobinas, no se ha optado por este tipo de sistema de encendido porque tienen menos rango de ajuste y son menos seguros que los sistemas secuenciales. Al haber chispas en cilindros que no están en su ciclo de expansión, podría haber combustión en cilindros con las válvulas de escape o admisión abiertas. Si la combustión sale por el escape, genera un fuerte ruido y podría dañar algunos componentes del sistema de escape, aunque esto último es poco probable. Si la combustión sale por la admisión, podría resultar en graves problemas al no estar preparada para resistir las explosiones del motor. Como en la admisión se encuentra la mariposa del acelerador, la combustión genera una fuerte subida de presión que no puede escapar por la mariposa y puede dañar los componentes de la admisión, que no están preparados para lidiar con subidas de presión. Además, en el caso de tener un carburador instalado, la combustión en la admisión puede encender el combustible en el carburador y provocar un incendio.

Las bobinas usadas habitualmente en encendido secuencial están instaladas directamente en las bujías, coil on plug. Estas bujías se encuentran instaladas en el centro de la culata, entre las válvulas. Para motores que tienen las bobinas instaladas en el lateral, como es el caso del motor del 205, se usan bobinas instaladas en un soporte y unidas con cables a las bujías. Además, la centralita seleccionada requiere bobinas de tipo lógico. Estas bobinas están siempre conectadas a la alimentación de 12V, preparadas para entregar una chispa. La centralita envía una señal lógica electrónica de 5V a las bobinas para que salte la chispa. Las bobinas de un Chevrolet Corvette C5 para el motor LS1 cumplen con todos los requisitos y es posible conseguirlas nuevas. Las bobinas seleccionadas tienen el código 5DA 230 035-261 del fabricante Hella.

4.2.7 Sensores

La centralita necesita sensores para conocer el estado del motor y ajustar los parámetros de funcionamiento.

4.2.7.1 Sensor de posición de árbol de levas

Este es el sensor más importante para el funcionamiento de la centralita. Con este sensor, la centralita conoce la posición del motor dentro del giro y el régimen de giro, para indicar el momento de la inyección y el encendido. Existen varios tipos de sensores, reluctancia variable y efecto hall. Ambos tipos se basan en el campo magnético para detectar el giro del motor. Los sensores de reluctancia variable, VR, generan una señal analógica alterna con el paso de los dientes de una rueda fónica. Debido a la señal que generan, estos sensores necesitan acondicionamiento de la señal para el uso de la centralita. Los sensores de efecto hall generan una señal digital 0-5V que se alimenta directamente a la centralita. Este es el tipo de sensor que se va a emplear en el proyecto. Existen dos variantes de sensores de efecto hall. Una variante necesita la presencia de un imán permanente separado del sensor, que se oculta mediante los dientes de la rueda. Para emplear un sensor de este tipo es necesario fabricar una rueda con los dientes curvos y colocar en el interior un imán permanente. La otra variante tiene un imán permanente incorporado y usa el cambio de flujo magnético debido a la presencia de los dientes de la rueda fónica para detectarlos. La rueda, de dientes rectos, se puede fabricar de cualquier material ferromagnético. Debido a la facilidad de implementación y fabricación de los elementos necesarios, para el proyecto se usará un sensor de efecto hall con un imán permanente incorporado del fabricante Ridex y con código 3946S0022.

El inconveniente de este tipo de sensores es que la tasa máxima de detección de dientes es menor que los sensores VR. Si la rueda empleada tiene un número elevado de dientes o el motor gira a un régimen elevado, es posible que el sensor no detecte correctamente los dientes de la rueda y genere problemas en el funcionamiento del motor.

4.2.7.2 Sensor de posición de acelerador

En este proyecto se va a emplear una mariposa accionada por cable mediante el pedal del acelerador instalado originalmente en el coche. En el cuerpo de la mariposa se coloca un sensor que mide la apertura de la mariposa. Recibe alimentación de 5V de la centralita y, mediante una pista de resistencia y una escobilla, varía la resistencia en el interior para

devolver una tensión variable a la centralita. Con esta medida, la centralita ajusta el comportamiento del encendido y de la inyección del motor. Este sensor venía incluido con la mariposa adquirida y es el original instalado por Mazda.

4.2.7.3 Sensor de presión y temperatura del aire de la admisión

El sensor usado en este proyecto combina ambas medidas en un sensor. Esto será una ventaja más adelante, en la segunda fase del proyecto, a la hora de diseñar el colector de admisión que solo necesitará una posición donde colocar el sensor y se reducirá la complejidad del cableado. La centralita usa este sensor para conocer la densidad del aire y así calcular el flujo de aire que entra por la admisión para inyectar la cantidad de gasolina adecuada para la combustión deseada. El sensor seleccionado está fabricado por Ridex y tiene el código 161B0008.

4.2.7.4 Sensor de temperatura del refrigerante

Este sensor se utiliza para conocer la temperatura del refrigerante del motor y que la centralita ajuste los parámetros de la inyección y el encendido. Esto ayuda al funcionamiento del motor en frío, al arranque, tanto en frío como caliente, y a que el motor se caliente en menos tiempo. Se instalará en una tubería del circuito de refrigerante y se comentará más adelante en detalle.

4.2.7.5 Sensor de oxígeno en el escape

Sensor de oxígeno en el escape: la centralita utiliza este sensor para ajustar la cantidad de combustible para conseguir la mezcla de aire y combustible deseada. Es especialmente útil mientras se está programando la tabla de combustible de la centralita. Después, la centralita continúa haciendo ajustes a la mezcla mientras funciona el motor. Este sensor se instala en el escape y envía la información a un reloj que la analiza y convierte en una señal analógica para la centralita. En la segunda fase del proyecto se explicará en más detalle la instalación y configuración del sensor.

4.3 FUNCIONAMIENTO CON ENCENDIDO CONTROLADO ELECTRÓNICAMENTE

4.3.1 Centralita

En primer lugar, se instalará la centralita. Debido a que esta no debe estar expuesta a temperatura excesiva o agua, es preferible colocarla en el interior del coche en vez de bajo el capó. En el lado derecho del túnel central, bajo el salpicadero, existe un lugar donde colocar la centralita. La centralita cuenta con unos agujeros para el montaje sobre una superficie plana. Para instalarla en el lugar encontrado es necesario diseñar y fabricar un soporte. El soporte se diseña en Solidworks y se fabrica mediante impresión 3d. Debido a que estas piezas estarán montadas en el interior del coche, no se espera que estén expuestas a altas temperaturas. Se ha seleccionado el PLA (ácido poliláctico) como material para fabricar las piezas. Estas se han fabricado en una impresora Prusa i3 mk3. Para unir las piezas se usan insertos roscados, que se insertan en la pieza mediante temperatura. Para unir el soporte al vehículo se han diseñado unas garras, visibles a los lados en la Figura 3. Las garras se cierran con unos tornillos para unir la centralita al panel que cubre el túnel central. Con este tipo de unión no es necesario realizar agujeros para colocar la centralita, de modo que se puede recolocar más adelante si esta posición no fuese adecuada dejando el panel en estado original.



Figura 3: Soporte de la centralita

En la Figura 4 se muestra el soporte montado a la centralita.



Figura 4: Centralita montada en el soporte

4.3.2 Bobinas

Las bobinas que se van a emplear en el proyecto son originalmente de un Chevrolet Corvette. Estas bobinas están atornilladas a las tapas de balancines del motor LS1 del Corvette. Para poder fijar las bobinas en el motor del Peugeot 205 se requiere un soporte. Este las sitúa entre el motor y el panel de fuego, debajo del filtro del aire. La tapa de balancines cuenta con un espárrago que sujetaba una pieza que dirige aire de la zona del escape a la caja del filtro del aire. Esto se usaba en invierno para que el aire que absorbía el motor estuviese más caliente y funcionase mejor el carburador. Como se va a prescindir del carburador y la centralita es capaz de ajustar los parámetros a la temperatura del aire, la pieza mencionada anteriormente ya no es necesaria, dejando libre el espárrago para atornillar el soporte de las bobinas. El soporte se va a fabricar en chapa de acero, de modo que es necesario unirlo a más puntos para que no se mueva, deforme y vibre con el movimiento del motor. Se diseñan también unas piezas para fabricar en chapa, que se atornillen a los espárragos que cierran la tapa de balancines. Estas piezas se instalarán quitando las tuercas de la tapa de balancines, colocando las piezas encima de la tapa, en los espárragos, y volviendo a colocar las tuercas

en sus espárragos. De este modo se consiguen 4 puntos de sujeción entre el motor y el panel de fuego para unir el soporte.

Tanto el soporte como los refuerzos se diseñan en Solidworks. Antes de fabricar las piezas en chapa, se fabrican unos prototipos en impresión 3D para verificar el diseño y la colocación respecto a los otros componentes. En el lugar donde se pretende colocar las bobinas, pueden entrar en conflicto con la salida de gases del cárter y la caja del filtro del aire. Los refuerzos, mostrados en la Figura 5 se imprimieron en la Prusa, pero el soporte, debido a que su tamaño excede el área de la Prusa, se imprimió en una Dynamical Tools DT600+. Se trata de una impresora de tecnología FDM, igual que la Prusa, pero de gran formato.

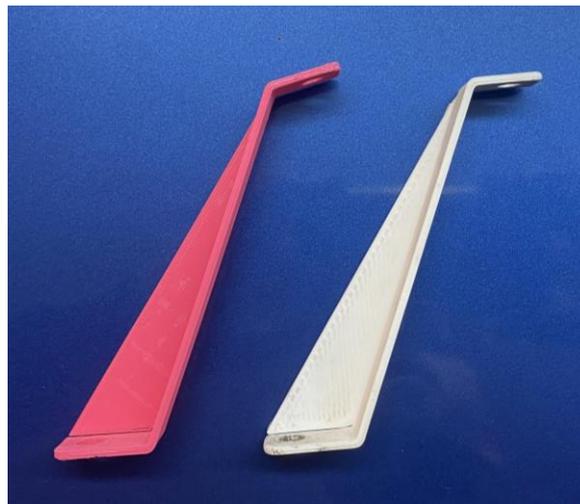


Figura 5: Prototipos de los refuerzos

Con el diseño verificado, el soporte se fabrica en chapa de acero de 1,5 mm. Para conseguir la geometría requerida, la chapa se corta con una máquina de corte por chorro de agua. Esta máquina corta chapas mediante un chorro de agua a presión con abrasivo. Debido a que la placa de soporte no cabe entera en la máquina de corte, esta se ha dividido a la mitad y se soldarán las mitades para conseguir la pieza completa. La unión se realiza con un equipo de soldadura por electrodo revestido. Como la chapa es bastante delgada, al soldar mediante esta tecnología se corre el riesgo de hacer un agujero en la chapa. Para evitarlo, se suelda realizando puntos que van uniéndose para formar el cordón entero. Entre puntos se espera a que la chapa se enfríe. Después de la soldadura, se elimina la cobertura protectora con un

martillo y un cepillo de alambres, revelando el cordón y se lija con una radial con disco de lijado la parte del cordón que sobresale de la chapa hasta dejarla lisa.

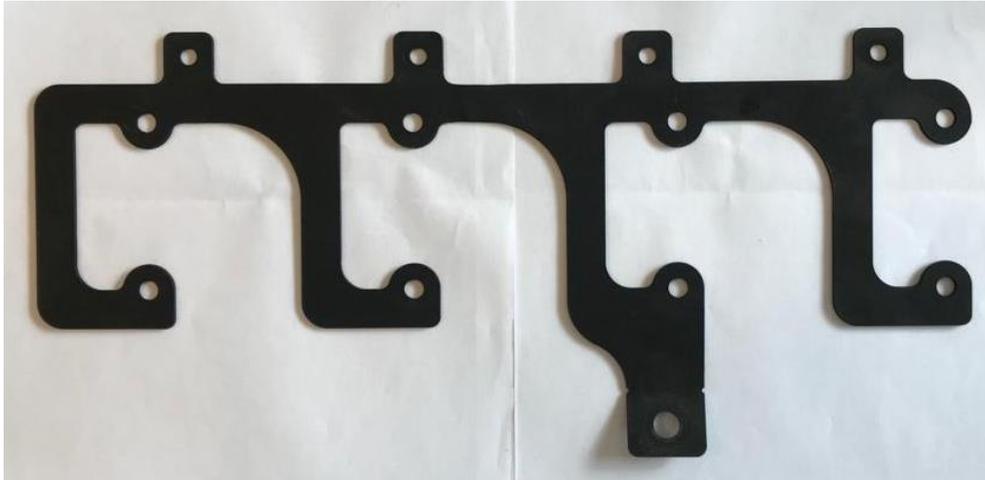


Figura 6: Soporte para bobinas

Las piezas de refuerzo se cortan también en la máquina de chorro de agua y, tras doblarlas en la plegadora manual, se suelda el nervio para aumentar la rigidez. La soldadura se realiza con la misma técnica empleada en el soporte.



Figura 7: Refuerzo del soporte

A continuación, el soporte y los refuerzos reciben un tratamiento superficial mediante un chorreado. En este proceso, las superficies reciben un chorro de aire comprimido con arena abrasiva que, al mismo tiempo, elimina el óxido provocado por el contacto con el agua durante el corte y confiere rugosidad a la superficie para que la pintura, que se aplicará más adelante, se adhiera mejor.

Para proteger las bobinas del calor del escape, entre los refuerzos se va a instalar una chapa de acero que actúe de escudo térmico. La geometría de esta pieza no es compleja y no es necesario un diseño por ordenador para fabricarla. Se instalan los refuerzos y se mide el espacio entre ellos para cortar una chapa de 1 mm de espesor en la cizalla. Después, se marcan y se taladran los agujeros para unir el escudo a los refuerzos mediante tornillos y tuercas.

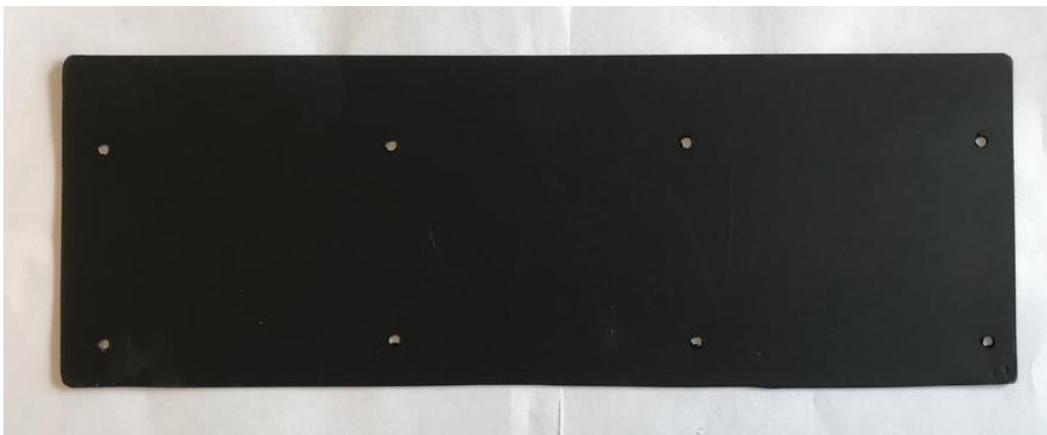


Figura 8: Escudo térmico para bobinas

Como estas piezas se van a instalar entre el motor y el panel de fuego, justo encima del colector de escape, que se calienta mucho con el uso del coche, se aplican 2 capas de pintura negra de alta temperatura. Este es el tipo de pintura que se usa para aplicaciones que están expuestas a altas temperaturas como chimeneas o barbacoas para proteger el metal de la corrosión.

Para unir el soporte a los refuerzos, se instalan unas tuercas remachables en los refuerzos. Se podrían usar también tuercas y tornillos, pero debido a la posición de las bobinas bajo el capó, el uso de tuercas remachables facilita la instalación del soporte en su posición con las bobinas ya unidas y dejando los soportes unidos al motor. Las tuercas remachables se instalan igual que los remaches. Se realiza un agujero en los refuerzos, se inserta la tuerca y con la remachadora se deforma. Esta tecnología permite crear una rosca resistente en una chapa. Para instalar las bobinas, se usan los agujeros originales para atornillarlas a la tapa de balancines del Chevy LS1 mediante tuercas con anillo de nylon y tornillos.

Las bobinas tienen un conector de cuatro pines para conectarlas al cableado del coche y necesitan: alimentación a 12V a través de un fusible, una conexión a tierra, señal de la centralita y tierra de la centralita. Se profundizará en las conexiones eléctricas en el apartado del cableado

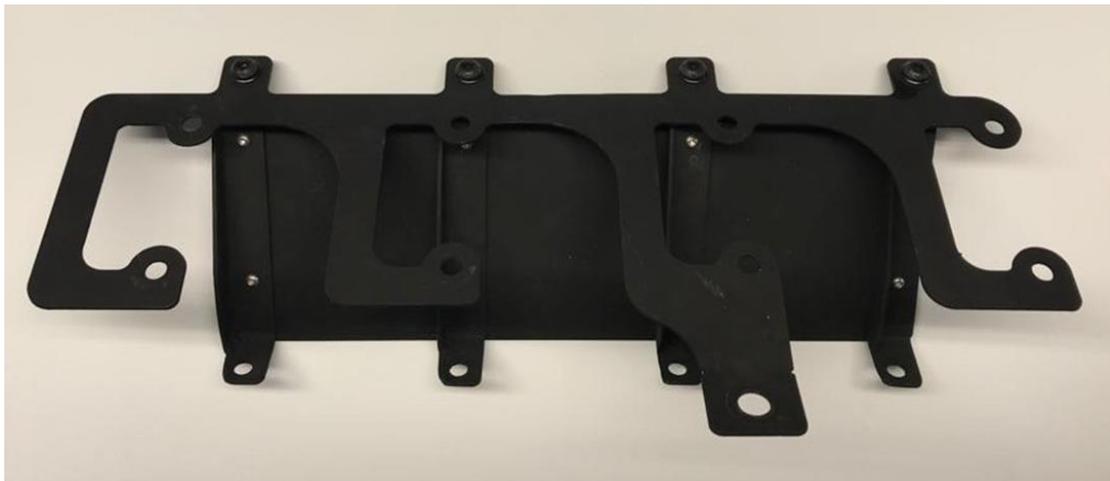


Figura 9: Estructura de soporte de bobinas completa

En la Figura 9 se muestra la estructura para instalar las bobinas completa, pintada y montada.

4.3.3 Distribuidor

Para el funcionamiento del sistema de inyección o el encendido controlado electrónicamente es necesario un sensor para que la centralita conozca la velocidad a la que gira el motor y en qué punto del ciclo se encuentra. Los motores de 4 tiempos completan 2 vueltas del cigüeñal en cada ciclo. Los motores con sistemas de inyección tienen habitualmente un sensor de posición del cigüeñal y un sensor de posición del árbol de levas, aunque es posible configurar el sistema para usar únicamente uno de estos. Si se conoce solo la posición del cigüeñal, la centralita no es capaz de diferenciar en qué punto se encuentra del ciclo entre 2 posibilidades. Por este motivo, la centralita no funciona con la precisión y estabilidad que se busca en este proyecto. El árbol de levas gira a la mitad de velocidad que el cigüeñal, completa una rotación por ciclo del motor. Un sensor que conozca la posición del árbol de levas es capaz

de determinar el punto del ciclo del motor. Si se dispone de sensores colocados en el cigüeñal y el árbol de levas, la configuración habitual usa el sensor del cigüeñal para conocer la velocidad de giro del motor y el sensor del árbol de levas para conocer la posición del motor dentro de los 720 grados de cada ciclo. También es posible que la centralita consiga toda la información relativa a la posición del motor exclusivamente con un sensor de posición del árbol de levas, pero provoca que el motor necesite más tiempo para arrancar, ya que la centralita necesita más revoluciones para reconocer la velocidad del motor. Además, debido a la baja velocidad de giro durante el arranque, la centralita no tiene tanta precisión decidiendo el momento adecuado para provocar las explosiones y provoca que algunas explosiones no estén perfectamente sincronizadas con el motor, ralentizando el arranque.

Debido a que este motor tenía exclusivamente versiones carburadas, no dispone de sensores de posición de cigüeñal o árbol de levas, ni de lugares para colocarlos. Es necesario buscar una solución única para este motor. El único modo factible para colocar un sensor de posición de cigüeñal sería instalar la rueda fónica en la polea delantera del cigüeñal, que mueve la correa del alternador y la bomba del agua. Aunque sería posible colocar la rueda en esa posición, no hay un lugar adecuado para instalar el sensor que detecta los dientes de la rueda. Debido al gran tamaño de este motor, la polea del cigüeñal se encuentra muy cerca de la rueda delantera derecha. Si se colocase un sensor en esta zona, el agua y la suciedad que la rueda proyecta en la zona dañarían el sensor en poco tiempo. En cuanto al árbol de levas, la mayoría de los motores actuales tienen los árboles de levas colocados en las culatas y la rueda fónica para el sensor se sitúa en uno de los extremos del árbol de levas.

En el motor del Peugeot 205 GTX, el árbol de levas se encuentra en el interior del bloque del motor y se transmite el movimiento de las levas a las válvulas mediante varillas de empuje y balancines. El árbol de levas está movido por el cigüeñal mediante una cadena en el interior del bloque y los extremos del árbol de levas no están accesibles para colocar la rueda fónica o el sensor. Sin embargo, el motor tiene un distribuidor para controlar el encendido del motor, que se va a modificar para obtener la posición del árbol de levas.

El distribuidor del motor se usa para controlar el encendido, en concreto el momento en el que la bujía provoca el arco que enciende la mezcla de aire y combustible dentro de los cilindros. Como en este proyecto se pretende controlar el encendido mediante la centralita, la funcionalidad del distribuidor es realizada por la centralita y el sensor de posición del árbol de levas. Sin embargo, como el distribuidor gira en sintonía con el árbol de levas, es posible usar este mecanismo para integrar el sensor de posición de manera menos costosa e invasiva que otras soluciones.

Se diseña en CAD una pieza que colocar en lugar de la tapa del distribuidor original. En esta pieza tiene una apariencia similar a la tapa original e, igual que en la original, se mantiene en posición con los mismos clips y se pueden colocar los cables de bujías. Estos cables no están conectados a las bujías, solo están para parecer que sigue funcionando como un distribuidor. En esta pieza se instala el sensor de posición del árbol de levas. El sensor tiene un agujero para atornillarlo a la tapa y un pin de centrado. En la Figura 10 se muestra el sensor de efecto hall que se va a emplear como sensor de posición del árbol de levas.



Figura 10: Sensor de posición del árbol de levas

Una vez terminado el diseño de la tapa del distribuidor, esta se imprime mediante FDM para verificar su geometría. Tras ajustar las medidas, la tapa final se fabrica en PA12. Se ha seleccionado este material, ya que la pieza se encuentra bajo el capó y, aunque no está cerca del colector de escape, la temperatura en la zona sería excesiva para los materiales de FDM,

pero tolerados por PA12. La pieza se puede colorear en la impresora. Se selecciona un color rojo similar al que tiene la tapa original del distribuidor.

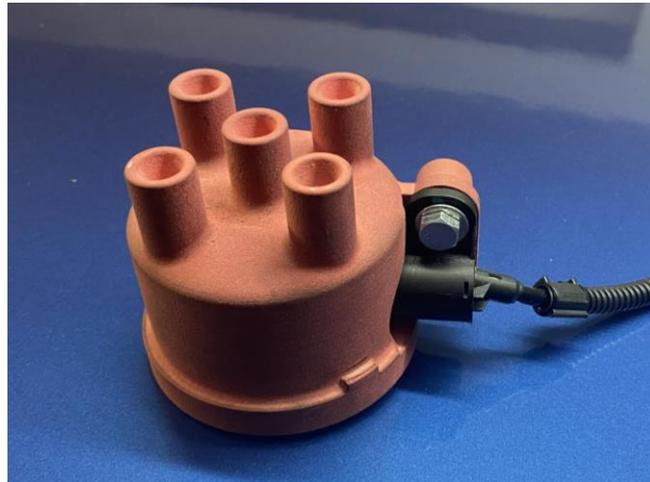


Figura 11: Tapa del distribuidor con sensor

En el interior de la tapa se colocará la rueda fónica que el sensor de posición del árbol de levas detectará para conocer la posición del motor. Se diseña en CAD una rueda fónica de 36 dientes regulares y 1 de ellos falta. Este perfil de rueda (36/1) es uno de los más comunes. Con los 36 dientes, la centralita conoce la velocidad a la que está girando el motor. El diente que falta sirve para conocer la posición del árbol de levas y ajustar el momento de actuación de las bobinas y más adelante también la inyección. Se imprime un prototipo en PLA de la rueda para verificar las dimensiones del diseño. A continuación, se fabrica la rueda mediante la máquina de corte por chorro de agua de una chapa de acero dulce de 5mm de espesor. Una chapa de un espesor inferior podría provocar que el sensor no detecte los dientes.

La posición del sensor en la tapa requiere que la rueda fónica tenga un espaciador en el eje del distribuidor. El espaciador se fabrica en chapa de acero de 10mm de espesor en la máquina de chorro de agua. A continuación, se taladran y roscan unos agujeros M4 para unir la rueda al espaciador. Para mantener el conjunto en posición, se taladra y rosca un agujero M4 en el lateral del espaciador para insertar un tornillo prisionero que bloqueará el espaciador contra el eje del distribuidor. Para terminar y prevenir la corrosión, la rueda y el

espaciador se pintan de negro. En la Figura 12 se muestran la rueda fónica y el espaciador como se van a instalar en el distribuidor.

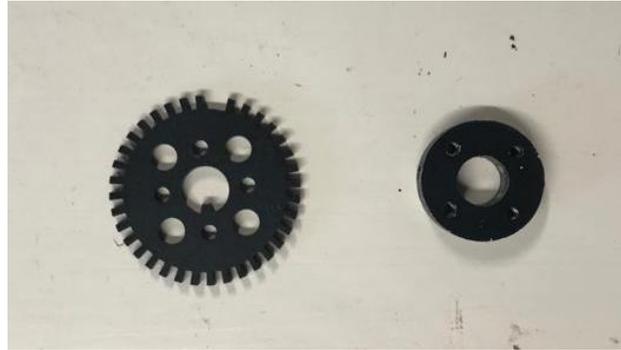


Figura 12: Rueda fónica y espaciador

4.3.4 Cables de bujías

Los cables de bujías conectan las bobinas con las bujías para enviar los impulsos generados por las bobinas a las bujías y encender la mezcla de aire y combustible en los cilindros. Las bobinas que se van a emplear no tienen el mismo terminal que los cables originales del motor. Se necesitan entonces un set de cables distinto al original. Un set de cables compatibles con las bobinas es bastante costoso, especialmente teniendo en cuenta que es un set de 8 cables, debido a que el motor en el que se instalaban las bobinas era un V8 y solo se van a emplear la mitad. Además, un set para las bobinas tiene unos cables cortos por la posición de las bobinas en ese motor y para este proyecto no llegarían desde las bujías hasta donde se pretenden colocar las bobinas. Debido a que se desea mantener la apariencia del distribuidor, se va a mantener el set de cables originales conectados a la nueva tapa del distribuidor, que cubre la rueda fónica. El otro extremo de estos cables no se conectará a las bujías. Un nuevo set de cables, iguales a los anteriores, pero con conectores a 90 grados en el extremo de las bujías, conectarán las bujías a las bobinas, después de haberle cambiado los terminales por unos compatibles con las nuevas bobinas. Los nuevos conectores a 90 grados serán necesarios para evitar interferencias con los inyectores en la próxima fase del proyecto. En la Figura 13 se muestran ambos terminales.



Figura 13: Terminal para distribuidor original (der) y terminal para bobina nueva (izq)

El proceso de cambio de terminal consiste en cortar el conector original, quitar el aislante de una longitud de cable suficiente para que este haga un buen contacto con el conector, colocar el terminal en posición y doblar el terminal para atrapar el cable en el interior y crear una conexión resistente. Como no se dispone de la herramienta específica para el doblado del terminal y no se puede realizar una conexión adecuada con alicates, se diseñó y fabricó una pieza que haga las veces de un troquel para doblar el terminal correctamente. La pieza, fabricada en PLA mediante impresión 3d, consiste en dos mitades que, al ser juntadas con unos alicates ajustables, crean la forma final del terminal, atrapando el cable en su interior y realizando una conexión resistente. En la Figura 14 se muestran ambas mitades del troquel y un nuevo terminal.



Figura 14: Troquel y terminal

Por último, solo queda colocar la pieza aislante en la posición adecuada para que realice un sello entre el cable y la bobina, con el fin de evitar la entrada de agua o suciedad en la conexión.

4.3.5 Caja de fusibles y relés

Los circuitos necesarios para los dispositivos que se van a añadir al Peugeot 205 durante el proyecto necesitan fusibles y relés para proteger y controlar los circuitos respectivamente. Se ha seleccionado una caja para instalar los fusibles y relés y se colocará en el interior de la guantera del coche. Se ha diseñado un soporte en CAD, para después fabricarlo en PLA mediante impresión 3d en la Prusa i3. A continuación se colocan insertos roscados en los agujeros para atornillar el soporte a la guantera y la caja al soporte. En la pared trasera de la guantera se realizan 4 agujeros para los tornillos de unión con el soporte de la caja.



Figura 15: Soporte de la caja de fusibles y relés

Se diseña en CAD un panel para dividir la guantera en 2 secciones, una para el cableado y otra para su uso como guantera para almacenar la documentación, etc. Esta pieza se fabrica mediante impresión 3d en PLA en la Prusa i3. El panel se une a las paredes laterales y el fondo de la guantera mediante tornillos. Para estos tornillos se introducen unos insertos roscados en el panel.



Figura 16: Panel divisor de guantera

En este panel se instalan el interruptor general y el reloj del medidor de oxígeno en el escape. El interruptor general se explicará en más detalle en el apartado sobre circuitos eléctricos. Se instala en el panel y se atornilla a este para fijarlo en posición. Como se puede observar en la Figura 16, el interruptor tiene unas roscas en la parte interior para realizar la conexión con el cableado. El sensor de oxígeno en el escape se introducirá en la próxima fase del proyecto, pero el panel divisor de la guantera incluye ya el montaje para este dispositivo. El

reloj se fija al panel mediante un puente que hace presión sobre la placa, bloqueando el reloj en posición. Debido al espesor de la placa, el puente original es demasiado alto y no permite enroscar las tuercas. Para solucionarlo se ha diseñado un nuevo puente y se ha fabricado en PA12 mediante impresión 3d de polvo.

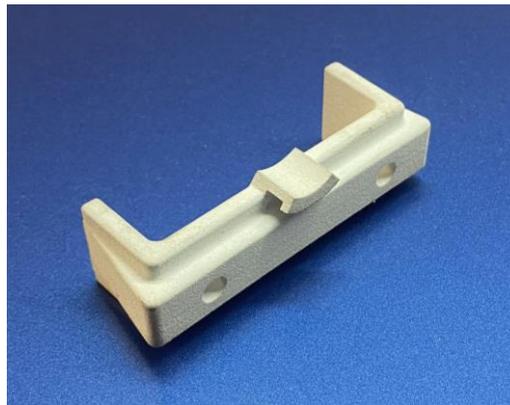


Figura 17: Puente para fijación del reloj

Para que los cables puedan atravesar las paredes de la guantera y esta se pueda abrir, se han realizado unos cortes a la pared lateral izquierda, tanto en la guantera como en la pared del salpicadero que envuelve la guantera. Se han diseñado y fabricado en PLA unos refuerzos para los cortes en las paredes que van atornillados a unos agujeros en las paredes mediante insertos roscados.

4.3.6 Circuitos eléctricos

Para esta parte del proyecto solo es necesario realizar una parte del cableado del proyecto completo, que comprende la centralita, la caja de fusibles y relés, las bobinas y el sensor de árbol de levas.

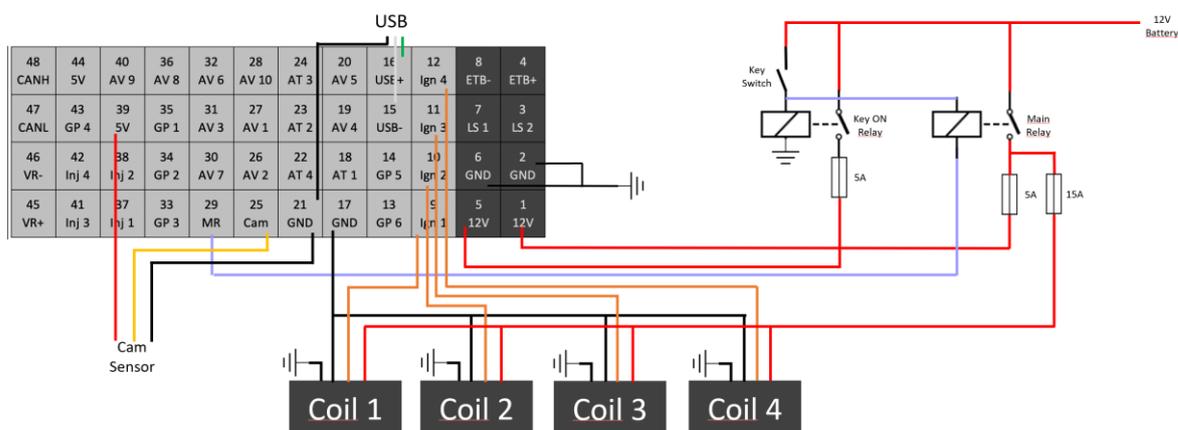


Figura 18: Diagrama eléctrico para el encendido electrónico

En el diagrama se muestran los circuitos eléctricos realizados para esta fase del proyecto

Para el montaje de los cables se siguen los siguientes pasos:

- Se miden los recorridos que tendrá que seguir el cableado.
- Se cortan los cables a las longitudes medidas en el paso anterior.
- Se elimina el aislamiento de los extremos exponiendo el núcleo conductor.
- Si el cable se une a otros cables se suelda la unión con estaño. Si es el final del cable se coloca un terminal en el extremo.
- Se aíslan los conductores expuestos mediante aislante termorretráctil.
- Los terminales se insertan en los conectores y se cierra el conector para mantener los terminales en su posición.
- En todos los recorridos que es posible, se agrupan los cables y se insertan en un escudo de PET para protegerlos.

Los cables tienen que atravesar el panel de fuego, por lo que se realiza un agujero de 40mm de diámetro en el panel. Para mantener el habitáculo aislado del compartimento del motor, se coloca un pasacables de goma. El cableado está compuesto de 2 mitades unidas mediante unos conectores. Esto permite que el cableado de la zona del motor y el cableado en el interior se pueda dividir en el panel de fuego a la hora de instalar o desinstalar el cableado, ya que los componentes no caben por el agujero realizado en el panel.

La alimentación de todos los circuitos se realiza a través de un interruptor general situado en el cable proveniente de la batería y que permite cortar la alimentación de los circuitos en

caso de un fallo. Por otro lado, el interruptor seleccionado se actúa mediante una llave que se quita cuando el interruptor se encuentra en la posición abierta. Esto se puede usar para evitar que el vehículo pueda arrancar sin la autorización del propietario. Como el interruptor alimenta la centralita, si el interruptor está abierto, el motor no arranca.

Los circuitos eléctricos necesitan también una conexión al terminal negativo de la batería para completar el circuito y que fluya la corriente. En los vehículos, el terminal negativo está conectado a la carrocería metálica del vehículo, la tierra. De este modo, todo el coche es el terminal negativo y no es necesario tener cables conectando los dispositivos eléctricos a ese terminal. Para conectar los circuitos añadidos a la estructura metálica del coche se fabrica un cable que une todas las tierras de los circuitos con el esparrago usado como tierra para la suspensión delantera derecha.

4.3.6.1 Centralita

La centralita dispone de un conector de 48 pines para el cableado de los sensores y actuadores. Aunque no es necesario completar el cableado en este estado del proyecto, es conveniente realizar todos los cables que compartan el mismo recorrido, especialmente los recorridos que comparten alguno de los conectores. Añadir un cable a un conector que ya ha sido montado es un proceso que consume tiempo y se expone al cableado y al conector a posibles roturas. Por este motivo, es deseable completar los conectores necesarios para esta primera fase con todos los cables previstos en el proyecto completo. En esta fase ya se han completado los cables entre la centralita y la caja de fusibles, entre la centralita y el panel de fuego. También se ha completado el conector del arnés del cableado del motor. Aún no se conoce la posición de todos los sensores y actuadores de la siguiente fase del proyecto, pero se quiere completar el conector del cableado del motor para evitar tener que abrirlos más adelante. Para conseguirlo, se han colocado en los pines unos cables a los que más adelante se soldarán la longitud final de los cables.

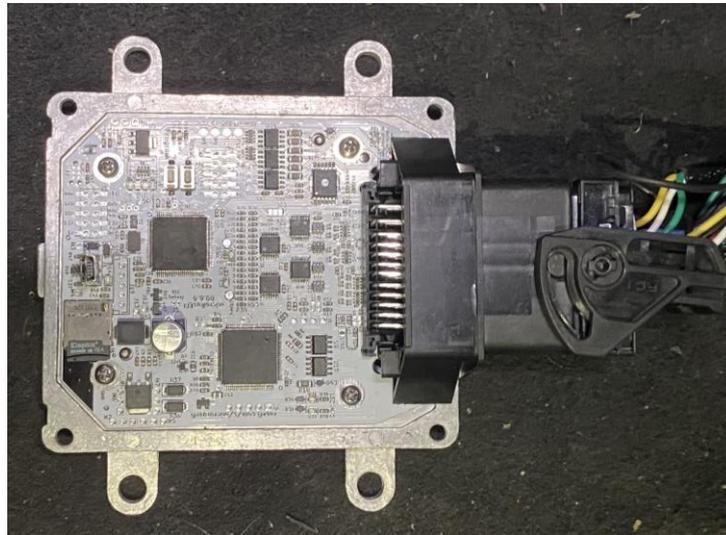


Figura 19: Centralita con conexiones eléctricas

La centralita obtiene alimentación de 12V a través de 2 pines, el 1 y el 5. La centralita solo debe funcionar mientras la llave está en la posición de funcionamiento del motor y en la posición de arranque del motor. Cuando la llave está en la posición deseada, el barril de la llave alimenta un relé (Key Relay), que envía 12V al pin número 5. Una vez la centralita tiene alimentación mediante el pin 5, la centralita activa el relé principal (Main Relay), que alimenta la centralita en el pin 1 y el resto de los sistemas que requieren 12V menos la bomba de combustible, que tiene un relé propio. Ambos pines de alimentación tienen un fusible de protección de 5 amperios, como recomienda el fabricante de la centralita.

Para cambiar parámetros de la centralita y monitorizar el vehículo, la centralita dispone de conexión mediante USB con un ordenador. Los pines 15 y 16 de la centralita se conectan a los cables USB- y USB+ respectivamente. La tierra del USB se conecta a una de las tierras de la centralita, el pin 21 en este caso, y el cable de 5V se deja sin conexión. Este último es para alimentar dispositivos mediante USB. Como el objetivo es exclusivamente enviar datos por estos cables, la alimentación no es necesaria.

Todos los sensores que envían datos a la centralita comparten los pines 17 y 21 como tierra. Esta tierra no está conectada directamente a la tierra del coche. Debido a que hay sensores que devuelven una tensión muy precisa como medida, tienen que estar conectados a una

tierra de sensores. La caída de tensión en los cables cuando envían potencia provocaría que la medida no fuese precisa y dependiese del consumo de energía del sistema eléctrico, si se usase la tierra general para conectar los sensores.

4.3.6.2 Sensor de posición de árbol de levas

Para cablear el sensor de posición del árbol de levas son necesarios 3 cables: alimentación de 5V proveniente de la centralita, salida para la señal electrónica que el sensor le envía a la centralita y la tierra de los sensores. Este sensor detecta los dientes de la rueda fónica en el interior del distribuidor. Cuando no tiene un diente presente, la salida del sensor se queda flotante. Cuando tiene un diente de la rueda presente, el sensor conecta la salida con la tierra. El sensor actúa como un interruptor normalmente abierto entre la salida y la tierra. En el interior de la centralita, la entrada para esta señal tiene una resistencia pull-up a 5V, de modo que cuando la salida del sensor está a tierra le llegan 0V a la centralita y cuando está flotante le llegan 5V. Este sensor genera por tanto una señal electrónica cuadrada entre 0 y 5 Voltios, que se conecta al pin 25 de la centralita.

4.3.6.3 Fusibles y relés

En la guantera se ha instalado una caja con capacidad para colocar 6 fusibles y 6 relés. Los fusibles se usan en los circuitos para proteger los cables y los dispositivos conectados frente a fallos. Los fusibles se clasifican por la intensidad máxima que soportan antes de abrir el circuito. Cuando se somete a un fusible a una corriente superior a la máxima, el alambre que une los pines del fusible se funde y abre el circuito, evitando que el fallo pueda seguir deteriorando el circuito y los dispositivos conectados. Los fusibles se han seleccionado por la intensidad máxima que se espera en el circuito o el fusible recomendado por el fabricante del dispositivo conectado al circuito. Los relés son interruptores controlados por una señal eléctrica y permiten conectar dispositivos que consumen más corriente de la que el controlador es capaz de entregar. Con los relés, la centralita es capaz de controlar circuitos

de hasta 40A con pines que solo pueden entregar 500mA, como el pin 29 para el control del relé principal del sistema de inyección.

4.3.6.4 Bobinas

Las bobinas instaladas tienen un conector de 4 pines: alimentación 12V, señal de centralita 5V, tierra para la señal de la centralita y tierra para la alimentación.

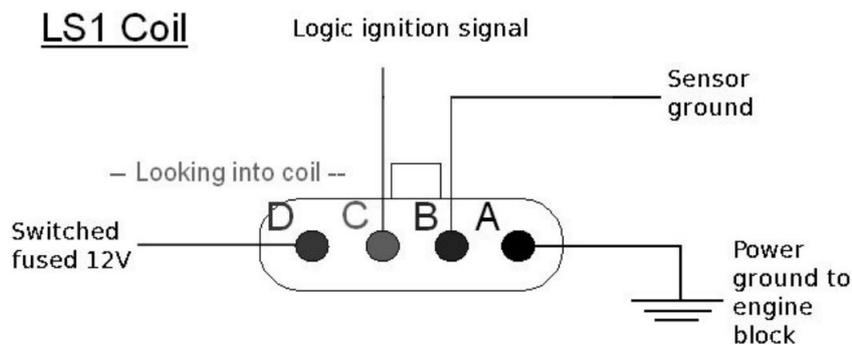


Figura 20: Conector de bobina[6]

Para reducir el número de cables que atraviesan el panel de fuego, se han unido los cables de alimentación, tierra y tierra de la señal de las bobinas. Las señales de la centralita se mantienen separadas. De este modo se pasa de 16 cables que tienen que atravesar el panel de fuego a 7 cables. Las entradas de señal lógica de las bobinas se conectan a los pines 37, 38, 41 y 42, que están especialmente concebidos por el fabricante de la centralita para el control del encendido.

4.3.7 Programación

Una vez está fabricado e instalado el cableado, es necesario programar la centralita. La centralita seleccionada es capaz de funcionar en una amplia gama de motores, pero debido a

que cada motor tiene características diferentes, hay que modificar parámetros en la centralita para que se adapte al motor usado.

Al comienzo se quiere alimentar exclusivamente la centralita, por lo que se instala exclusivamente el fusible del circuito de señal de llave para la centralita. Se comprueba que la centralita se enciende y se comunica con el portátil. A continuación, se instala el fusible del circuito que alimenta la centralita a través del relé principal, que la centralita activa cuando recibe alimentación mediante la posición de la llave y se enciende. El resto de los fusibles no se insertan en sus posiciones. En este punto, solo la centralita recibe alimentación. La centralita se programa mediante un ordenador y la conexión USB cableada anteriormente. El fabricante de la centralita ha creado una aplicación, Rusefi Console, para instalar los drivers en el ordenador, poder comunicarse con la centralita y actualizar el firmware. Según el fabricante de la centralita, el primer paso después de conectar la centralita al ordenador es actualizar el firmware a la última versión, disponible en su página web.

Una vez la centralita tiene instalada la última versión del firmware, se abre el programa Tunerstudio. Este programa se usa para cambiar los parámetros de la centralita y programarla para el coche. A continuación, se introducen los parámetros básicos del motor en la centralita en la ventana mostrada en la Figura 21. Estos parámetros son utilizados por la centralita para conocer las características del motor y ajustar el encendido, y la inyección más adelante.

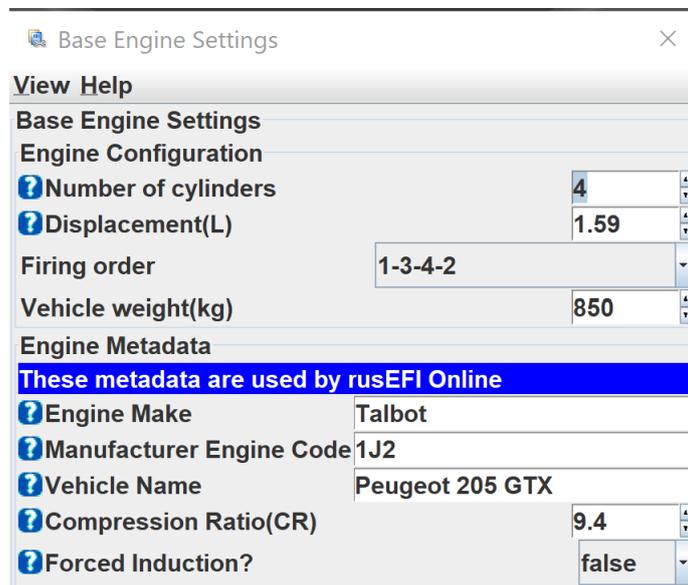
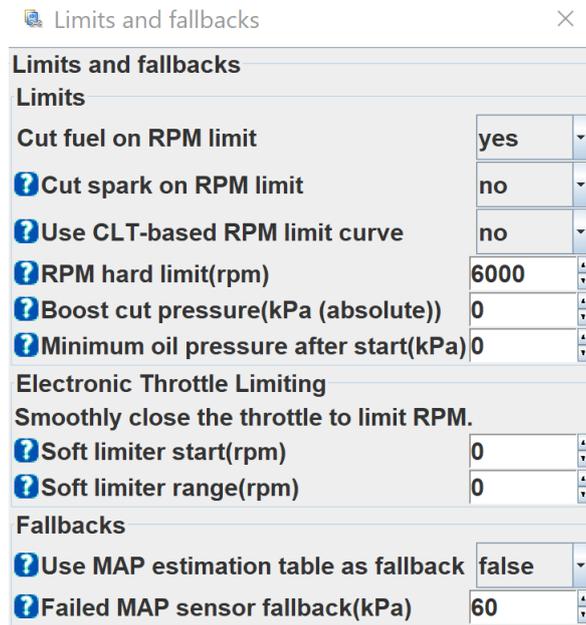


Figura 21: Ajustes básicos del motor

También se fijan los límites del motor y como se debe comportar la centralita al alcanzar estos límites. El máximo régimen del motor son 6000 rpm y cuando el motor alcanza ese régimen, la centralita corta la inyección, pero mantiene el encendido en funcionamiento. Según el fabricante de la centralita, esta configuración es más segura para el motor. El resto de la configuración no aplica a este motor, excepto el valor por defecto del MAP, que se fija en 60 kPa. Este valor se encuentra en la media de los valores esperados y es aproximadamente el esperado cuando el motor tiene una carga moderada. La centralita usará el sensor MAP para ajustar la inyección en la siguiente fase del proyecto. Si el sensor fallase, la centralita no podría controlar la inyección y el motor se detendría. Para permitir que el motor pueda continuar funcionando, aunque de manera inestable, la centralita asume que la presión en la admisión es 60 kPa y ajusta la inyección a este valor.



Limits and fallbacks	
Limits	
Cut fuel on RPM limit	yes
? Cut spark on RPM limit	no
? Use CLT-based RPM limit curve	no
? RPM hard limit(rpm)	6000
? Boost cut pressure(kPa (absolute))	0
? Minimum oil pressure after start(kPa)	0
Electronic Throttle Limiting	
Smoothly close the throttle to limit RPM.	
? Soft limiter start(rpm)	0
? Soft limiter range(rpm)	0
Fallbacks	
? Use MAP estimation table as fallback	false
? Failed MAP sensor fallback(kPa)	60

Figura 22: Ajustes de límites

Por último, se ajustan la configuración relativa al sensor de posición del árbol de levas. La rueda fónica tiene 36 dientes y 1 no está presente. Cambiando estos parámetros se pueden utilizar otras ruedas fónicas. Otros ajustes mostrados en la Figura 23 configuran la posición y conexión de la rueda fónica y el sensor de posición de árbol de levas.

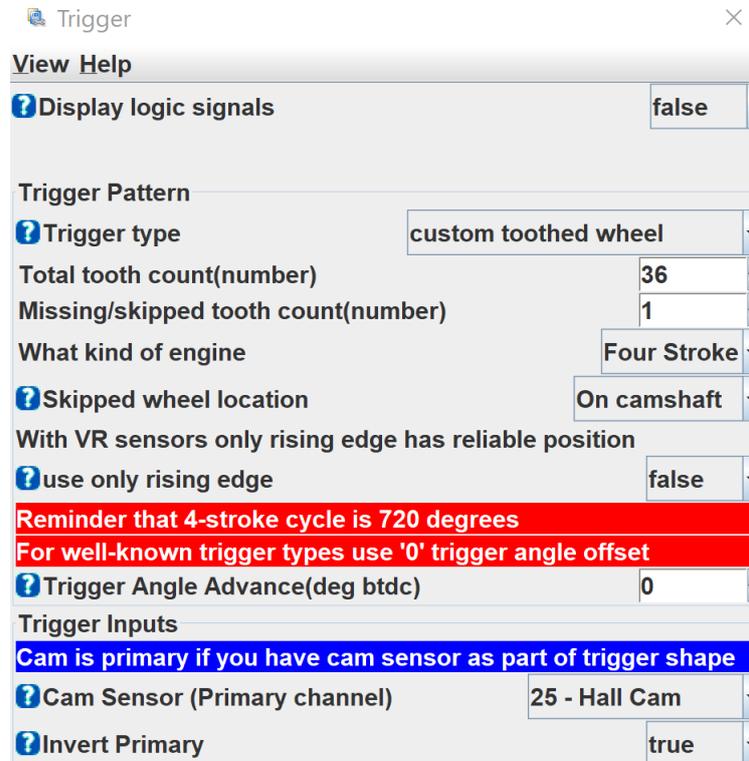


Figura 23: Configuración de la sincronización

4.3.8 Prueba de funcionamiento

En este apartado se intentará arrancar el motor y ajustar su comportamiento. La centralita tiene los parámetros básicos del motor introducidos, pero no está aun correctamente adaptada al comportamiento del motor. Esta programación no se puede realizar previamente. Es necesario el ajuste con el motor funcionando. Debido a que se va a arrancar un motor que no está asegurado su correcto funcionamiento, se tiene un extintor disponible para poder contener un posible fuego. El riesgo principal es que la sincronización del motor no esté realizada correctamente y la centralita active las bujías mientras la válvula de admisión está abierta y la gasolina que tiene el carburador prenda fuego.

Con la centralita programada, se cambia el distribuidor original por la rueda fónica, se coloca la nueva tapa y se conecta el sensor de posición de árbol de levas al cableado. A

continuación, se comprueba el funcionamiento del sensor de árbol de levas, ya que este sensor le indica a la centralita la posición y velocidad de giro del motor y es imprescindible para el control del motor. Para comprobar el funcionamiento del sensor y la adquisición de los datos por parte de la centralita, se hace girar al motor con el motor de arranque y se observa que la centralita registra la velocidad de giro del motor, los dientes individuales de la rueda fónica y reconoce correctamente el punto muerto superior del motor.

Después se conectan los circuitos necesarios para el funcionamiento de las bobinas, se conectan las bobinas a las bujías y se instala el fusible de las bobinas. A continuación, se arranca el motor con el control de las bujías por parte de la centralita y la alimentación del motor de aire y combustible por parte del carburador. Para facilitar el arranque, la sincronización del encendido se fija a 10° antes del punto muerto superior. Como no se sabe de momento si la tabla de encendido está correctamente ajustada al motor, es más fiable fijar la sincronización en un valor seguro para el funcionamiento del motor y que no provoca daños funcionando al ralentí. Con esta configuración, el motor es capaz de arrancar y mantener un ralentí de 950 rpm sin necesidad de intervención.

Sin embargo, cuando se acciona el acelerador progresivamente, el motor no es capaz de subir de 1200-1500 rpm y empieza a funcionar de manera muy abrupta. En cuanto sube el régimen de giro, no hay combustión durante varios ciclos hasta que las revoluciones bajan y continua el funcionamiento normal. En la consola del ordenador se puede obtener un gráfico con los impulsos que llega a la centralita desde el sensor de posición del árbol de levas y las señales que la centralita envía a las bobinas cuando deben activarse las bujías. En la Figura 24 se muestra este gráfico cuando el motor se encuentra a régimen de ralentí.

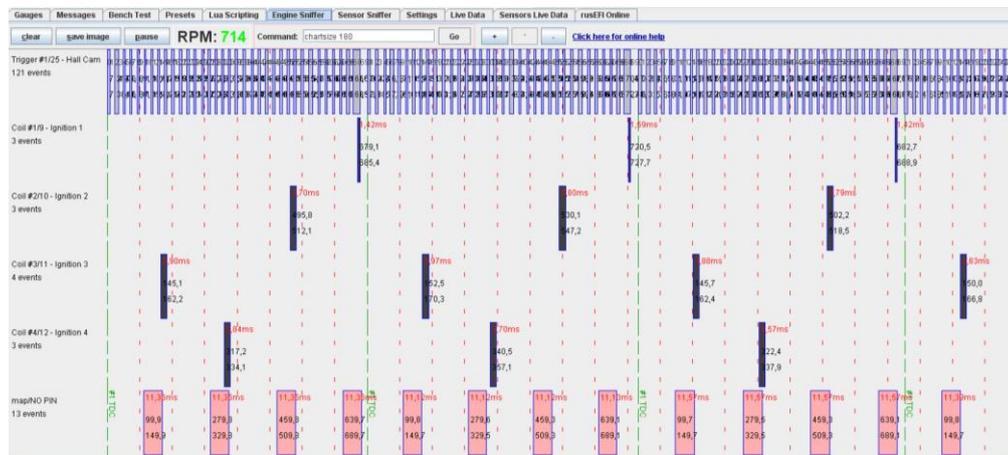


Figura 24: Gráfico de impulsos

Cuando el motor sube de vueltas, los impulsos generados por el sensor de árbol de levas tienen menor duración y se encuentran más cerca entre sí. La centralita calcula el tiempo entre impulsos para conocer la velocidad y detecta el diente que falta para conocer la posición del motor dentro del ciclo. Al examinar el gráfico de impulsos mientras el motor aumenta de régimen se observa como la centralita no es capaz de encontrar el diente que falta y, como desconoce la posición del motor, no envía señales a las bobinas para accionar las bujías. Al no haber explosiones en los cilindros, el motor cae rápidamente de vueltas hasta que los impulsos se normalizan en un régimen menor. Debido a este comportamiento se sospecha que el sensor de posición del árbol de levas, la rueda fónica o la configuración de estos es el culpable de los problemas de sincronización.

Los sensores de efecto hall, como el sensor usado para medir la posición del árbol de levas, no son sensibles a la distancia que separa el sensor de la rueda fónica y permiten un rango amplio de distancias para funcionar correctamente. El sensor está colocado con un espacio de aire de 1mm entre el sensor y la rueda. Para comprobar si el espaciado pudiera ser el motivo del fallo al aumentar el régimen del motor, se intentó alejar y acercar el sensor de la rueda. Al alejar el sensor, el motor se cala al instante, ya que el sensor deja de registrar los dientes de la rueda. Al acercar el sensor, el motor se mantiene al ralentí, pero al intentar aumentar el régimen, el problema persiste. Aunque el sensor esté tocando la rueda, no se puede acelerar el motor. El sensor no tiene la capacidad de detectar los dientes de la rueda

en cuanto esta gira más rápido que al ralentí. Para resolver este problema se plantean las siguientes soluciones:

- Cambiar el sensor: esta alternativa sería bastante costosa, tanto en tiempo como en dinero. Sería necesario adquirir un sensor nuevo, una nueva rueda fónica y cambiar el cableado del sensor y de los conectores.
- Cambiar la rueda fónica: diseñar y fabricar una nueva rueda más simple y compatible con la configuración anterior. Con esta opción se puede seguir empleando el cableado ya creado y requiere menos tiempo que la opción anterior antes de tener todos los componentes y poder continuar con el proyecto.

Se va a optar por la segunda solución debido a que requiere menos tiempo y cambios al cableado fabricado anteriormente. Con la solución seleccionada, es necesario diseñar en CAD la nueva rueda fónica. Además de algunos perfiles originales de fabricantes de vehículos, Tunerstudio permite usar un perfil genérico con cualquier número de dientes con espaciado constante y cualquier número de dientes eliminados. Como este sensor necesita una rueda fónica con un número menor de dientes, se va a optar por una rueda de 8 dientes y 1 eliminado. De nuevo, la rueda se corta en la máquina de chorro de agua de una chapa de acero de 5mm y se une al mismo espaciador. La nueva rueda se muestra en la Figura 25.



Figura 25: Nueva rueda fónica de 8 dientes

Una vez se ha instalado la nueva rueda, se comprueba que el motor arranca. Se cambia el encendido de sincronización fija a sincronización variable según la tabla base de la centralita y el motor es capaz de superar el régimen límite anterior. El motor se acelera hasta 2500 rpm sin problema. Es necesario ajustar mejor los parámetros del encendido para pasar del

régimen anterior con seguridad, al no estar aún asegurada la correcta sincronización del encendido. A continuación, se va a ajustar y comprobar la sincronización del encendido con el motor.

La centralita conoce la posición del motor mediante la posición de la rueda fónica. Si la rueda fónica no está perfectamente sincronizada con el motor, la lectura de la centralita será errónea. La sincronización de la rueda se ajusta en el programa de la centralita. El encendido se fija con el ángulo deseado. Como se quiere conocer el desfase entre el punto muerto superior del motor y el de la centralita, en este caso se fija a 0° antes del punto muerto superior. En esta configuración, la bujía del cilindro 1 se encenderá en el punto muerto superior según la lectura de la centralita de la rueda fónica. El motor tiene unas marcas en el volante de inercia con las que se ajusta el encendido. Mediante una luz estroboscópica, mostrada en la Figura 26, conectada a la batería para la alimentación y a la bujía del primer cilindro para indicar el punto de encendido, se iluminan las marcas del volante de inercia, mostradas en la Figura 27. Estas tienen que coincidir con las que tiene el bloque del motor.



Figura 26: Lámpara de Luz Estroboscópica

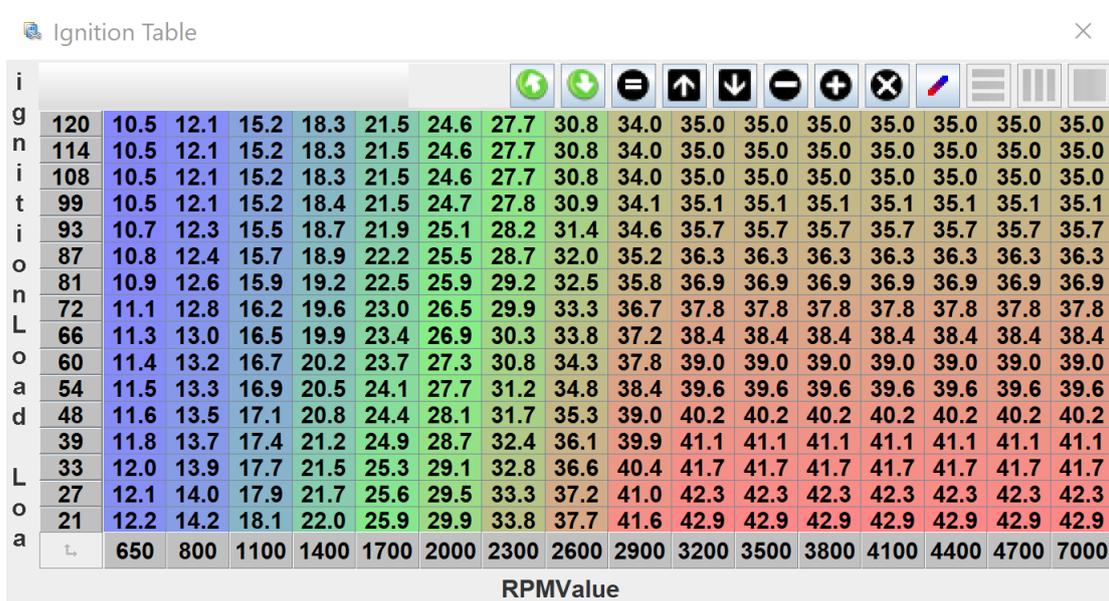


Figura 27: Marcas de sincronización del encendido

Cuando la luz estroboscópica se enciende, la marca en el volante de inercia se encuentra en la marca 0. Como el ángulo introducido en la centralita y el ángulo marcado por el volante de inercia coinciden, la centralita está sincronizada con el motor y no es necesario realizar ningún ajuste a la configuración. Si la rueda fónica hubiese tenido un desfase con el movimiento del motor, se habría variado el ángulo de sincronización hasta que las marcas estuviesen alineadas. Este dato se habría introducido posteriormente en la configuración de la sincronización del sensor de posición del árbol de levas.

Con la sincronización realizada, el encendido se cambia de fijo a dinámico. Este cambio permite que la centralita ajuste la sincronización del encendido en base al régimen del motor y la presión del aire de admisión. La centralita dispone de una tabla, mostrada en la Figura 28, que indica el avance del encendido y se ajusta mediante Tunerstudio. Esta tabla se genera automáticamente con los parámetros introducidos al principio en los ajustes básicos del motor.

Ignition Table



i																		
g	120	10.5	12.1	15.2	18.3	21.5	24.6	27.7	30.8	34.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
n	114	10.5	12.1	15.2	18.3	21.5	24.6	27.7	30.8	34.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
i	108	10.5	12.1	15.2	18.3	21.5	24.6	27.7	30.8	34.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
t	99	10.5	12.1	15.2	18.4	21.5	24.7	27.8	30.9	34.1	35.1	35.1	35.1	35.1	35.1	35.1	35.1	35.1
i	93	10.7	12.3	15.5	18.7	21.9	25.1	28.2	31.4	34.6	35.7	35.7	35.7	35.7	35.7	35.7	35.7	35.7
o	87	10.8	12.4	15.7	18.9	22.2	25.5	28.7	32.0	35.2	36.3	36.3	36.3	36.3	36.3	36.3	36.3	36.3
n	81	10.9	12.6	15.9	19.2	22.5	25.9	29.2	32.5	35.8	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9
L	72	11.1	12.8	16.2	19.6	23.0	26.5	29.9	33.3	36.7	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8
o	66	11.3	13.0	16.5	19.9	23.4	26.9	30.3	33.8	37.2	38.4	38.4	38.4	38.4	38.4	38.4	38.4	38.4
a	60	11.4	13.2	16.7	20.2	23.7	27.3	30.8	34.3	37.8	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0
d	54	11.5	13.3	16.9	20.5	24.1	27.7	31.2	34.8	38.4	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6
L	48	11.6	13.5	17.1	20.8	24.4	28.1	31.7	35.3	39.0	40.2	40.2	40.2	40.2	40.2	40.2	40.2	40.2
o	39	11.8	13.7	17.4	21.2	24.9	28.7	32.4	36.1	39.9	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1
a	33	12.0	13.9	17.7	21.5	25.3	29.1	32.8	36.6	40.4	41.7	41.7	41.7	41.7	41.7	41.7	41.7	41.7
	27	12.1	14.0	17.9	21.7	25.6	29.5	33.3	37.2	41.0	42.3	42.3	42.3	42.3	42.3	42.3	42.3	42.3
	21	12.2	14.2	18.1	22.0	25.9	29.9	33.8	37.7	41.6	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9
		650	800	1100	1400	1700	2000	2300	2600	2900	3200	3500	3800	4100	4400	4700	7000	
		RPMValue																

Figura 28: Tabla de avance del encendido

La tabla inicial permite al motor funcionar adecuadamente y de manera segura, al no ser excesivamente agresiva. Se va a mantener esta tabla sin modificaciones hasta la siguiente fase del proyecto, donde se realizarán cambios si fuesen necesarios una vez instalado el sistema de inyección electrónica.

4.4 FUNCIONAMIENTO CON ENCENDIDO E INYECCIÓN CONTROLADO ELECTRÓNICAMENTE

En la fase anterior del proyecto, la centralita controlaba únicamente el encendido del motor mientras el carburador realizaba la mezcla de aire y combustible. En esta fase se entregará el control de la alimentación de combustible a la centralita. Esta segunda fase necesita de más sensores y piezas para ser completada.

4.4.1 Colector de admisión

El colector de admisión es una de las piezas más importantes y complicadas de esta conversión, ya que no existe una versión de inyección de este motor y es necesario diseñar una pieza exclusivamente para este proyecto. En esta pieza se van a instalar los inyectores y la nueva válvula de mariposa. Los colectores suelen estar fabricados en metales como acero o aluminio. Para fabricar un colector en estos materiales sería necesario un proceso de mecanizado que resulta muy costoso. La alternativa es fabricar el colector en polímeros mediante fabricación aditiva. Sin embargo, esta pieza presenta unos retos singulares, ya que tiene que soportar las altas temperaturas del motor y ser resistente a la gasolina y a los esfuerzos que se va a someter. Estos requisitos suponen que muchos materiales usados en fabricación aditiva no sirvan para esta pieza.

El circuito de refrigeración del motor trabaja a una temperatura de 90°C. Esta será la temperatura aproximada de la culata del motor, donde se atornilla el colector de admisión. La temperatura que deberá soportar la pieza será ligeramente inferior, debido a que estará circulando aire por el interior del colector y a que estará inyectándose y evaporándose gasolina. Sin embargo, cuando se apague el motor, estos efectos desaparecen y la temperatura será muy cercana a la del circuito de refrigeración.

Tanto el PLA (ácido poliláctico) como el PETG (polietileno tereftalato glicol modificado) no serían capaces de resistir las temperaturas del motor. Aunque sus temperaturas de fusión

son superiores a las temperaturas que hay debajo del capó de un coche, sus temperaturas de distorsión térmica son inferiores. Al calentar los materiales por encima de su temperatura de distorsión, las piezas se deforman por las cargas aplicadas y quedan inservibles. La temperatura de distorsión térmica del PLA es aproximadamente 55°C [7] y la del PETG es aproximadamente 70°C [8], ambas inferiores a la temperatura de operación del motor. Aunque el ABS es capaz de resistir el calor, especialmente después de un proceso de recocido, no es resistente químicamente a la gasolina [9], por lo que tampoco se puede emplear para la fabricación del colector. Los materiales anteriores son los más comunes en impresión 3d en tecnología FDM.

El Nylon (poliamida) es un material que puede resistir la temperatura del motor y es químicamente resistente a la gasolina y otros productos que se encuentran cerca del motor de un coche. Además, existen impresoras de polvo de poliamida que son ideales para fabricar piezas huecas con precisión como un colector de admisión, al no necesitar material de soporte. Para fabricar esta pieza se va a emplear PA12 en una impresora de polvo HP580C. Este material tiene una temperatura de distorsión térmica de 95°C a una tensión de 1,82 MPa [10] y propiedades isotrópicas. La temperatura máxima que se espera que tenga que soportar esta pieza es cercana a 95°C, por lo que el esfuerzo máximo que puede soportar el colector de admisión será 1,82 MPa.

Para diseñar la pieza en CAD, primero se especifica la forma que tienen los puertos en la culata y la posición de los pernos de unión a la culata.



Figura 29: Unión del colector a la culata

A continuación, se coloca la unión con la mariposa, de modo que la caja del filtro del aire quede en la misma posición que antes de la conversión y se diseñan los recorridos que unen

la mariposa con los puertos de admisión de la culata. Además, se diseñan unos refuerzos para los recorridos.

Se diseña la forma específica de la conexión con la mariposa. Esta tiene unos pines centradores para colocar la mariposa en su posición correcta y 4 tornillos para fijarla. Para colocar estos tornillos se diseñan unos agujeros para instalar insertos roscados.

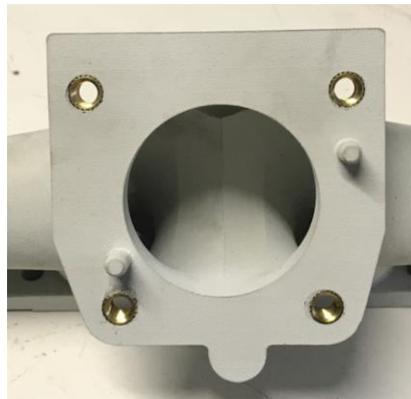


Figura 30: Unión del colector a la mariposa

Se diseña la conexión de los inyectores al colector. Los inyectores se insertan en unos agujeros y unas juntas tóricas sellan los inyectores al colector. El rail de combustible tiene unas pestañas para atornillarlo al colector de admisión. Para esta unión se diseñan unos agujeros para insertos roscados. Por último, se diseña el montaje del sensor de presión y temperatura del aire de la admisión, el soporte para el cable del acelerador y una salida para conectar el asistente de frenos. El coche dispone de frenos asistidos por vacío, que facilita el accionamiento de los frenos y se alimenta de vacío proveniente del colector de admisión del motor.



Figura 31: Elementos auxiliares instalados en el colector

Se realiza un ensayo estático a la pieza diseñada anteriormente para comprobar que el diseño no supera la tensión máxima del material cuando se calienta. El ensayo estático se realiza en la herramienta de simulación de Solidworks. La pieza se fija por las uniones atornilladas a la culata. El agujero central, presente en la junta del colector de admisión, no tiene un esparrago en la culata para fijarlo, de modo que no se añade a las geometrías fijas mostradas en la Figura 32.

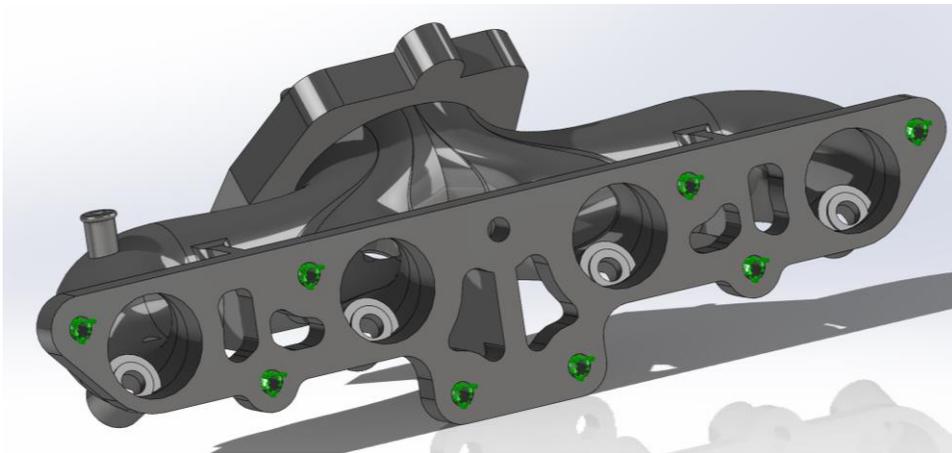


Figura 32: Geometría fija en el estudio estático

Además, la presencia de la culata en la cara del colector se introduce en el análisis mediante una restricción de contacto deslizante en la cara mostrada en la Figura 33.

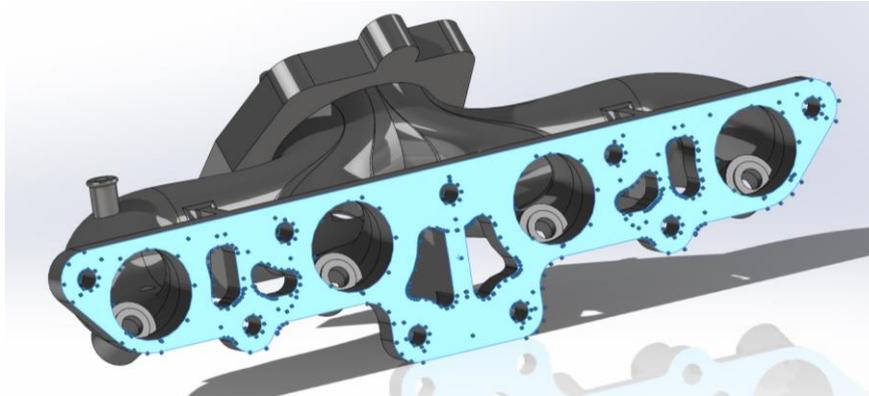


Figura 33: Geometría con restricción deslizante

A la pieza diseñada se le aplican tres cargas: fuerza descendiente sobre la unión con la mariposa por el peso de la mariposa y la caja del filtro de aire, presión en el interior del colector de admisión debido al vacío generado por el motor cuando se cierra la mariposa y el peso propio del colector. Para estimar la fuerza sobre la unión de la mariposa se pesan los componentes que se van a instalar y se aplica un factor de seguridad de 2, duplicando la carga. La presión mínima que tendrá el colector de admisión será de aproximadamente 20 kPa. Como esta es la medida del sensor de presión absoluta, usando la presión atmosférica como referencia, esta presión corresponde a -81,3 kPa en el interior del colector. El peso propio de la pieza lo calcula el simulador automáticamente seleccionando el material que compone la pieza. Las cargas externas se muestran en la Figura 34.

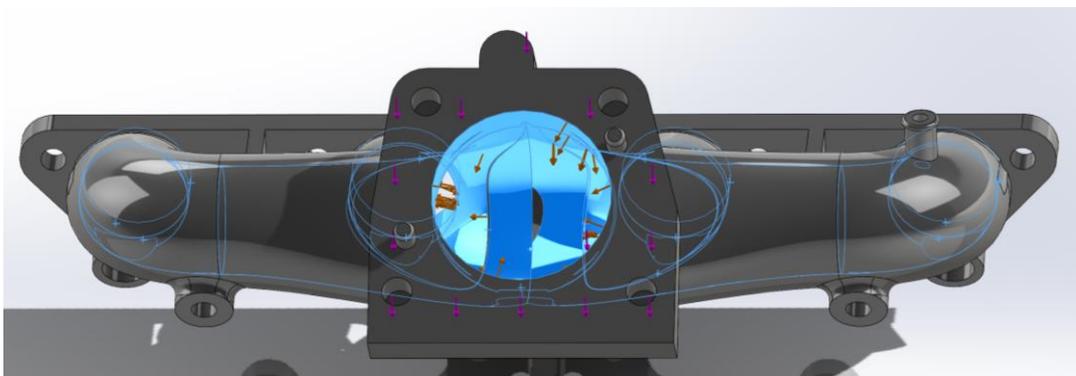


Figura 34: Cargas externas para la simulación

El resultado de las tensiones del análisis estático se muestra en la Figura 35. La tensión máxima que sufre la pieza es de 1,72 MPa, inferior a la tensión que provoca deformación a 95°C. La pieza diseñada es capaz de soportar las cargas esperadas y se puede continuar con su fabricación en PA12 mediante fabricación aditiva.

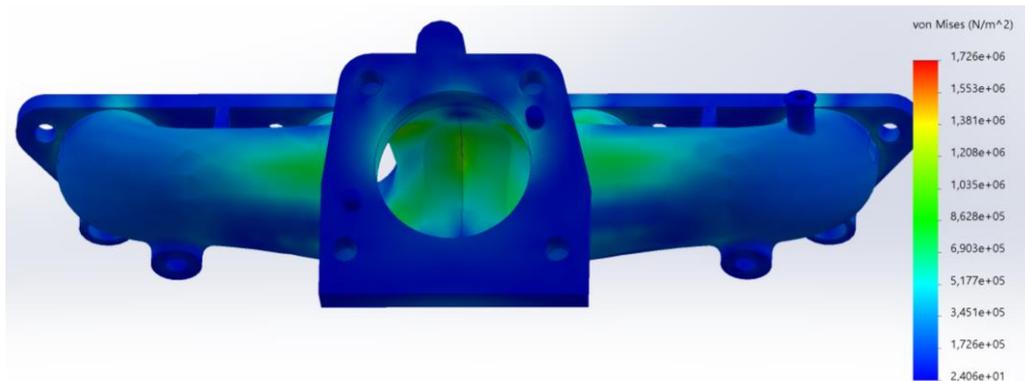


Figura 35: Tensiones resultantes del análisis

La pieza sale de la impresora cubierta de polvo. Este polvo se elimina primero con una brocha y después lo que queda mediante un proceso de chorreado. En este proceso se somete a la superficie de la pieza a un chorro de aire comprimido con arena abrasiva que despega el polvo que queda en la superficie, pero no forma parte de la pieza. Para finalizar la pieza, se introducen los insertos roscados que se usarán para instalar los componentes unido al colector. La pieza instalada en el motor se muestra en la Figura 36.



Figura 36: Colector de admisión instalado en la culata

4.4.2 Mariposa



Figura 37: Mariposa original de Mazda MX-5

La mariposa que se pretende instalar era originalmente de un Mazda MX-5 (NB). En la posición de la Figura 37, el colector de admisión estaba atornillado en la parte inferior y en la parte superior se conectaba un tubo flexible. En nuevo colector de admisión coloca la superficie de montaje de la mariposa más alta que el original del motor. Esto se debe a que en el nuevo colector necesita tener un espacio para colocar los inyectores, elevando la mariposa. La mariposa se va a unir a la caja del filtro del aire original del Peugeot, sin usar tubo flexible para reducir la altura. La distancia que sobresalen los accesorios instalados en el cuerpo de la mariposa por la parte superior debe reducirse lo máximo posible debido a que el filtro aire está muy cerca de tocar el capó. Especialmente teniendo en cuenta que a los conectores aún hay que enchufar el cableado, que aumentaría la altura de la pieza.

Las tuberías que en el Mazda llevaban agua del circuito de refrigeración se pueden cortar, ya que en este proyecto no se van a usar. En cuanto a la válvula de control del ralentí y el sensor de posición de la mariposa, debido al diseño simétrico de sus conexiones y que su funcionamiento no queda alterado, se pueden instalar al revés de su posición original de modo que los conectores quedan apuntando hacia abajo.

El sensor de posición de la mariposa, el sensor de la derecha en la Figura 37, no dispone de una junta que lo selle al cuerpo de la mariposa. Para evitar que se pueda quedar agua atrapada

en esta cavidad y pueda provocar el mal funcionamiento del mecanismo, la pieza tiene unas ranuras de evacuación. Esta pieza estaba instalada originalmente con la sección circular en posición horizontal. Como en este proyecto se va a instalar en posición vertical, las ranuras originales no son capaces de evacuar el agua y es necesario realizar una nueva ranura. Se instala en una fresadora una fresa de 4 mm y se corta una nueva ranura en dirección vertical, en la parte más baja, donde se acumularía el agua. Como el cuerpo de la mariposa tiene que sellar contra el colector de admisión, la ranura no puede llegar hasta la superficie de sellado para no comprometer el área de sellado. En la Figura 38 se muestra la mariposa sin los accesorios antes de las modificaciones y en la Figura 39 se muestra la mariposa después de haber eliminado los tubos para líquido refrigerante y haber realizado la ranura de desagüe.



Figura 38: Mariposa antes de las modificaciones



Figura 39: Mariposa después de las modificaciones

Una vez realizadas las modificaciones a la mariposa se instalan los accesorios. El sensor de posición del acelerador recibe una ligera capa de grasa de silicona en su interior para proteger el eje de la corrosión y se instala en la nueva posición. Antes de instalar la válvula de control del ralentí se instala la junta y se aplica una fina capa de sellador para facilitar la estanqueidad de la junta. A continuación, se instala la válvula y se aprietan los tornillos. La mariposa está lista para ser instalada en el colector de admisión.



Figura 40: Mariposa con accesorios instalados

No se dispone de la junta que sella la mariposa al colector de admisión originalmente. Es imprescindible tener una junta, ya que existe diferencia de presiones entre el colector y el aire ambiente. Para fabricar una junta se traza la forma deseada en cartón sólido y se recorta. La junta se coloca en el colector de admisión y se atornilla la mariposa al colector.

Para accionar la mariposa se utiliza el cable del acelerador usado originalmente para accionar la mariposa del carburador. El terminal del cable del acelerado tiene un bulón de 5,5 mm de diámetro. Se aumenta el diámetro del agujero en la mariposa para permitir la entrada del bulón con una broca de 6 mm y se instala el cable del acelerador pasando por el soporte diseñado en el colector.

La admisión del motor tiene instalado un filtro para eliminar partículas del aire que entra en los cilindros. En un Peugeot 205 GTX está instalado en una caja atornillada directamente al carburador. Como se ha eliminado, es necesario fabricar una pieza para unir la caja del filtro

con la nueva mariposa. La pieza se ha diseñado en CAD y se fabrica en PA12. Esta pieza se introduce en la mariposa y se bloquea en posición. Después se introducen unos insertos roscados para atornillar la caja del filtro del aire. En la Figura 41 se muestra la mariposa con el adaptador para el filtro del aire original instalado.

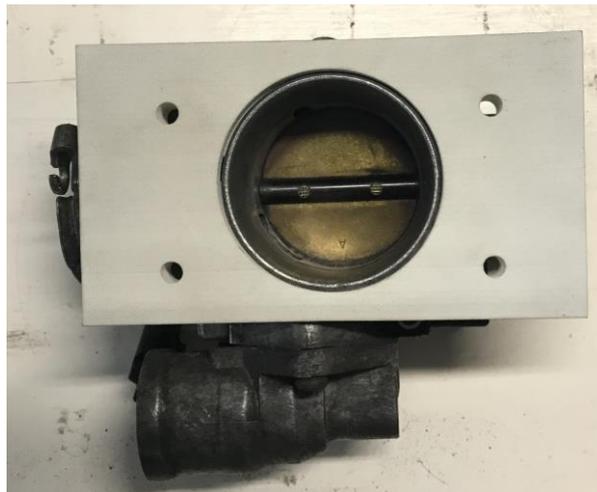


Figura 41: Mariposa con adaptador para filtro de aire

4.4.3 Circuito de combustible

4.4.3.1 Inyectores

Los inyectores seleccionados están instalados en el motor del que provienen en un rail de combustible. Este rail distribuye combustible a todos los inyectores a la misma presión y en él se instala el regulador de presión de combustible. El rail tiene unos agujeros para atornillar los inyectores y bloquearlos en posición en el colector de admisión. Los inyectores tienen una junta tórica para sellar entre el inyector y el colector. Para facilitar la instalación de los inyectores se aplica una fina capa de grasa de silicona. Como se ha comentado anteriormente, el regulador de combustible ajusta la presión en el rail en referencia al vacío en el colector de admisión. Para obtener esta referencia se coloca una tubería entre el regulador y el colector de admisión. Para terminar las tuberías de vacío, se coloca también el conducto que alimenta el asistente de frenado con vacío.



Figura 42: Rail de combustible con los inyectores

4.4.3.2 Bomba de combustible

El carburador estaba alimentado por una bomba de combustible mecánica accionada por el árbol de levas del motor. Como se ha comentado anteriormente, es necesario sustituirla por una bomba eléctrica nueva. Si únicamente se eliminase la bomba mecánica, se dejaría un agujero entre el exterior y el cárter del motor. Para cerrar este agujero, se diseña y se corta una pieza en la misma chapa de acero que la rueda fónica. La chapa tiene la superficie ligeramente rugosa. Para que la junta selle mejor, la pieza se lija con papel de grano fino y a continuación se pinta la cara exterior de la pieza para evitar la corrosión. Al instalar la pieza, se coloca primero una junta de papel y se añade sellador para ayudar a la junta a crear estanqueidad. En la Figura 43 se muestra la pieza instalada en el bloque del motor.



Figura 43: Tapa para bomba mecánica de gasolina

La nueva bomba de combustible tiene unas conexiones distintas a la bomba mecánica original. La entrada de combustible es para una tubería de 16 mm de diámetro y la salida usa una tubería de 8 mm de diámetro.

La bomba necesita un soporte para poder fijarla al coche. Al lado derecho del radiador hay un espacio pensado para el vaso de expansión del circuito de refrigeración del motor. En este modelo de 205, el vaso de expansión está colocado en otra posición, de modo que se va a emplear el espacio al lado del radiador para instalar la bomba. La superficie a la que se va a atornillar el soporte está curvada y el soporte se diseña con esta forma. El cuerpo de la bomba tiene una franja recubierta de un polímero donde se une al soporte. Se diseña una segunda pieza que se atornilla al soporte para fijar la bomba al soporte. Esta segunda pieza también se utiliza para cubrir la bomba y ocultarla. Se diseñan también unas arandelas con una superficie curvada para soportar las cabezas de los tornillos que unen el soporte al coche por el otro lado del panel curvo.

Las piezas diseñadas se fabrican en PA12 igual que el colector de admisión y se colocan los insertos roscados necesarios. Primero se instala el soporte en la superficie junto al radiador, marcando y taladrando los agujeros para los tornillos que fijan el soporte al coche. Después se coloca el soporte y las arandelas, y se insertan los tornillos. Se colocan los conductos de combustible y los cables de alimentación eléctrica en la bomba y esta se coloca en el soporte.

Como medida de seguridad y para mantener la bomba en posición cuando no está instalada la tapa, se añaden dos bridas metálicas para bloquear la bomba en el soporte. Las bridas se abren para pasarlas por unos huecos diseñados en el soporte y luego se aprietan para fijar la bomba en su posición. A continuación, se instalan las tuberías de combustible, se coloca la otra mitad del soporte que cubre la bomba y se atornilla. En la Figura 44 se muestra la bomba de combustible instalada en el soporte con las tuberías instaladas, sin la pieza que la cubre y fija en posición.



Figura 44: Bomba de combustible

Se le ha realizado un corte a la pieza que cubre la bomba para permitir la salida de la tubería de combustible que conecta la bomba con el rail de los inyectores. La tapa recibe también una capa de pintura negra, para que no llame la atención.

4.4.3.3 Circuito de combustible

Debido al cambio en el tipo de alimentación del motor, es necesario instalar un nuevo circuito de combustible. La gasolina llega desde el tanque de combustible y alimenta la entrada de la bomba. A la salida de la bomba se encuentra el rail de combustible que alimenta a los inyectores de combustible y tiene integrada el regulador de presión. Esta pieza funciona como una válvula, dejando pasar el combustible sobrante que ha impulsado la bomba, pero no es necesario inyectar. El regulador mantiene la presión en el rail constante respecto a la presión del aire en la admisión para que la diferencia de presiones entre los extremos de los inyectores sea constante y así también el flujo de los inyectores. Esto es necesario para que los cálculos de tiempo de apertura de los inyectores realizados por la centralita sean precisos y resulten en el flujo de inyección que la centralita espera conseguir. El regulador de presión

tiene un conector para una tubería de vacío que envía la presión de la admisión al regulador. Con esta referencia ajusta la presión el regulador. La tubería de vacío se conecta al colector mediante la tubería para los frenos asistidos.

Un sistema de inyección que tiene el regulador de presión instalado en el rail de combustible dispone de un conducto para devolver el combustible sobrante al tanque de combustible. Como el Peugeot 205 GTX usa originalmente un carburador, el circuito de combustible original no tiene un retorno del compartimento del motor al tanque de combustible. Existen varias soluciones para abordar este problema:

- La solución más simple es devolver el combustible que sale del regulador a la entrada de la bomba, mediante un racor en forma de T. La bomba aspiraría el combustible del retorno y solo fluiría el combustible usado por el motor por la alimentación desde el tanque. Esta solución requiere pocas modificaciones y componentes adicionales, pero supone que hay una parte muy importante del flujo de la bomba que vuelve inmediatamente a la entrada de la bomba. Solo se renueva el combustible inyectado. La bomba de combustible eléctrica se refrigera mediante el flujo de combustible. En el circuito de esta solución, el combustible que ya ha refrigerado la bomba pasa por esta varias veces antes de ser inyectado. Esto, junto con las altas temperaturas en el compartimento del motor, supone que el combustible se calentará. Si el combustible se calienta lo suficiente, se volverá gaseoso dentro de las tuberías del sistema de inyección. En caso de ocurrir, no solo dejaría de funcionar el motor, sino que también podría dañar la bomba de combustible, debido a que se encontraría a alta temperatura y funcionando en vacío.
- Otra solución sería instalar un sistema de inyección sin retorno. Estos circuitos de combustible tienen la bomba de gasolina instalada en el tanque de combustible. El regulador de presión está instalado a la salida de la bomba y el combustible sobrante se descarga directamente en el tanque. El combustible se envía al motor mediante un único conducto, sin retorno y a presión constante. El tanque de combustible del Peugeot 205 no ha sido diseñado para tener una de estas bombas en el interior. Como sería casi imposible encontrar un tanque nuevo compatible con esta tecnología con

la forma necesaria para el hueco original, la alternativa sería modificar el original. El tanque de combustible del Peugeot 205 está fabricado en un material polimérico, lo que supone que es imposible realizar modificaciones en su interior, para después volver a cerrarlo. Esto sería posible en un tanque fabricado en metales, que se podría volver a soldar una vez realizadas las modificaciones.

- La última alternativa es cambiar el aforador del tanque. Como el 205 tenía versiones de gasolina y Diesel, de carburador y de inyección, el mismo tanque de combustible se usaba para todas las versiones cambiando el aforador. El aforador es una pieza, instalada en el tanque, que extrae la gasolina del fondo de este. El aforador del GTX tiene una única tubería de salida. Esta tubería envía el combustible, a través de un filtro, a la bomba mecánica que alimenta el carburador. La tubería del aforador absorbe la gasolina a través de una malla para evitar que alguna partícula, que pudiera contener el tanque, entrase en el circuito. Otras versiones del coche tienen una bomba de combustible en el interior del depósito, pero no se trata de las bombas comentadas en la solución anterior. Para instalar estas bombas sería necesario fabricar un retorno. Algunas versiones tienen un aforador similar al instalado en el GTX originalmente, pero con un segundo conducto para devolver el combustible al depósito. Instalar este componente se la solución más equilibrada entre coste y seguridad. Para devolver el combustible al depósito se instala una tubería flexible en paralelo con la tubería de alimentación desde el regulador de presión hasta la entrada del aforador.

En la Figura 45 se muestra el diagrama del circuito de combustible que se ha instalado en el coche.

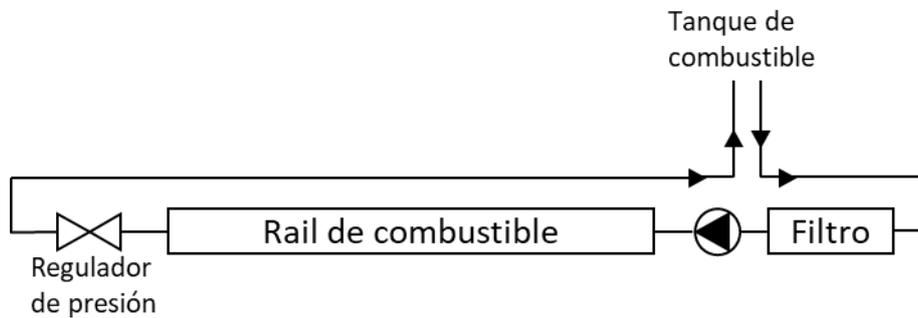


Figura 45: Diagrama del circuito de combustible

4.4.4 Circuito refrigerante

En el circuito original de refrigeración del motor del 205, el colector de admisión está conectado al cuerpo del termostato y a la bomba de agua mediante tuberías. En la Figura 46 se muestran las tuberías que conectaban el colector original al motor y formaban parte del circuito de refrigerante.



Figura 46: Colector de admisión original

Para completar de nuevo el circuito de refrigeración se añaden tuberías que seguirán un recorrido distinto. Se emplean dos codos de 90° de 25mm de diámetro de silicona, que salen del cuerpo del termostato, pasan por encima del colector de admisión y se unen a la tubería que estaba instalada en el colector original. Entre los codos se emplea un racor doble para unirlos y se fijan con bridas metálicas. Entre el segundo codo y la tubería original se añade un doble racor similar al anterior, pero que dispone de un agujero roscado en el centro para

colocar un sensor de temperatura. Este sensor se comentará con más detalle en la sección de circuitos eléctricos. En la Figura 47 se muestran las nuevas tuberías y el sensor de temperatura añadido al circuito refrigerante.



Figura 47: Cambios al circuito refrigerante

Para finalizar el circuito de refrigerante se rellena el circuito con anticongelante debido a que se ha vaciado ligeramente mientras se cambiaban las tuberías.

4.4.5 Sensor de contenido de oxígeno en el escape

Este sensor mide la cantidad de oxígeno que se encuentra en los gases de escape para conocer la relación de aire y combustible que hay en los cilindros y que la centralita pueda ajustarla a la relación deseada. Los vehículos que tienen instalado un sistema de inyección de gasolina usan estos sensores para afinar los parámetros de la inyección en tiempo real a las condiciones y comprobar el funcionamiento adecuado del catalizador. El escape que tiene el coche no dispone de un lugar para enroscar el sensor. El fabricante del sensor recomienda

que se instale como mínimo a 18 pulgadas de los puertos de escape de la culata. El sistema de escape del coche tiene los recorridos de los cilindros separados durante el primer tramo de escape, de modo que el sensor se tiene que instalar cuando los gases de escape de todos los cilindros fluyan por el mismo conducto. En primer lugar, se retira el escape del coche. Se desatornilla del colector de escape y se sueltan los ganchos que sostienen el escape debajo del coche. Una vez se tiene el escape retirado, se taladra un agujero de 22 mm en el lateral del tubo. Se suelda un inserto al tubo. Este inserto tiene en su interior una rosca para la instalación del sensor. El sensor es necesario que se instale en un ángulo mínimo de 10° respecto a la horizontal para evitar que se acumule el agua en su interior y se dañe.

A continuación, se instala el escape en el coche, se coloca el sensor en el inserto y se conecta el cableado al sensor.

4.4.6 Circuitos eléctricos

En la Figura 48 se muestra el diagrama eléctrico de los circuitos añadidos para alimentar los actuadores necesarios para la inyección electrónica. Los sensores se muestran en otro diagrama después de la descripción más detallada de los actuadores.

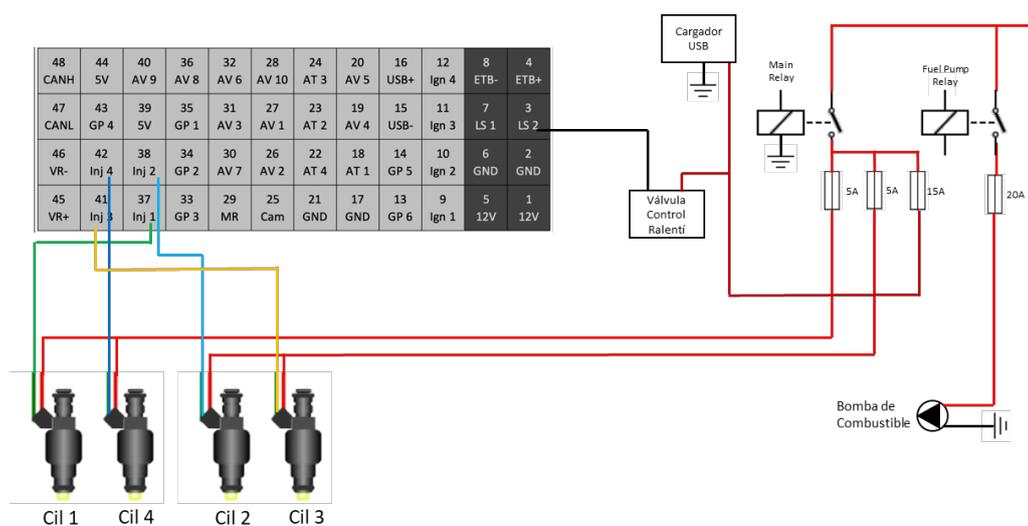


Figura 48: Diagrama eléctrico de actuadores para inyección electrónica

4.4.6.1 Cargador USB

Los vehículos modernos disponen de cargadores para dispositivos electrónicos integrados en el interior. Como este coche tiene más de 30 años, la única fuente de energía eléctrica en el interior es un enchufe de mechero. Con el objetivo de modernizar la experiencia en el coche, se instala un cargador USB en el cenicero, mostrado en la Figura 50. Cuando el cargador no está en uso, el cenicero se cierra y queda oculto. El cargador se alimenta a 12V mediante el relé principal de la centralita y a través de un fusible. El relé principal está controlado por la centralita y cuando esta se encuentra apagada, el relé abre el circuito y el cargador se apaga también, evitando que este pueda drenar la batería mientras el coche está aparcado. En la Figura 49 se muestra el transformador del cargador USB que se va a instalar en el coche.



Figura 49: Transformador DC/DC para USB



Figura 50: Cargador USB colocado en el cenicero

4.4.6.2 Inyectores

Los inyectores tienen un conector de dos pines, 12V y tierra. El pin positivo se conecta a través de un fusible al relé principal de la centralita. El fusible está compartido por dos inyectores. Los inyectores se han agrupado buscando que su funcionamiento se solape el menor tiempo posible. Como la secuencia de encendido del motor del 205 es 1-3-4-2, los inyectores del cilindro 1 y 4 comparten un fusible y los inyectores del cilindro 2 y 3 comparten otro. El pin negativo está conectado a la centralita y se utiliza para abrir el inyector. Cuando la centralita pone el pin negativo a tierra, el inyector se abre e inyecta combustible. Para que el inyector se cierre, la centralita deja el pin negativo flotante.

4.4.6.3 Válvula de control del ralentí

La válvula de control del ralentí instalada en la mariposa se usa originalmente en un Mazda MX-5. Esta válvula es de tipo solenoide, que utiliza dos cables para controlar la apertura de la válvula mediante una señal PWM. En la centralita se configura la válvula mediante la frecuencia de trabajo y los límites de funcionamiento. La centralita permite también configurar los parámetros de la respuesta PID de la señal enviada a la válvula. Este modelo de válvula trabaja a una frecuencia de 500 Hz. Los parámetros PID se ajustarán más adelante

para refinar la respuesta del ralentí, una vez el motor arranque y tenga una respuesta satisfactoria en carretera.

4.4.6.4 Bomba de combustible

La bomba de combustible está alimentada a 12V mediante un fusible de 20A y controlada por un relé, que alimenta solo la bomba de combustible. La centralita activa este relé cuando se enciende para presurizar el circuito de combustible y preparar el motor para el arranque. La centralita activa el relé exclusivamente durante los segundos que se hayan programado para la preparación. El relé se vuelve a activar en cuanto la centralita detecta que el motor ha empezado a girar durante el arranque y se mantiene activado hasta que el motor se detiene. La necesidad de que la bomba de combustible tenga su propio relé es para aumentar la seguridad, al existir presión de combustible exclusivamente mientras el motor está en funcionamiento. En caso de fallo o accidente, se detiene el flujo de combustible cuando el motor se detiene y reduce el riesgo de incendio por fugas de combustible.

En la Figura 51 se muestra el diagrama eléctrico de los circuitos de los sensores añadidos para la inyección electrónica. A continuación, se describe en detalle la conexión de los sensores.

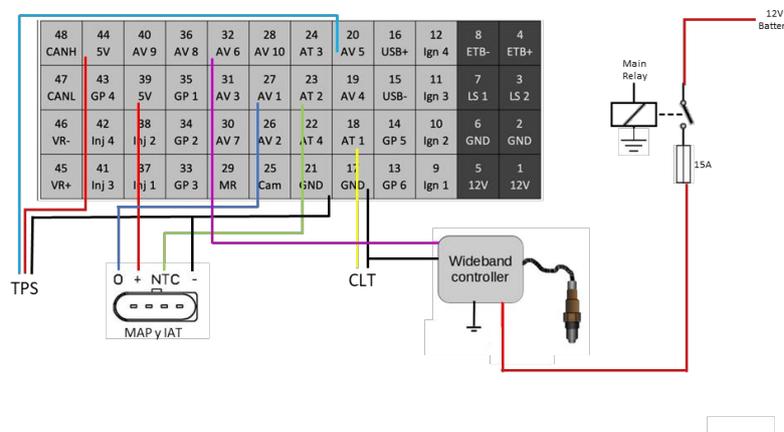


Figura 51: Diagrama eléctrico de sensores para inyección electrónica

4.4.6.5 Sensor de oxígeno en el escape

Como comentado anteriormente, este sensor sirve para conocer la relación de aire y combustible en el motor y ajustar la inyección de gasolina. El reloj que muestra la relación en tiempo real, instalado en la guantera, es el ordenador que controla y recibe la información del sensor y la transforma en una tensión entre 0 y 5V que se envía a la centralita. El reloj se alimenta a 12V mediante un fusible conectado al relé principal de la centralita.

4.4.6.6 Sensor de presión y temperatura del aire de admisión

Este sensor tiene un conector de 4 pines; alimentación a 5V, tierra, salida de señal del sensor de temperatura y salida de señal del sensor de presión. En sensor de presión es un sensor activo, que utiliza la alimentación a 5V para detectar la presión del aire y convertir esta información en una señal analógica entre 0 y 5V. El sensor de temperatura es de tipo NTC, unos sensores pasivos que varía su resistencia interna con la temperatura. Como la centralita es de tipo universal, pueden conectarse muchos sensores distintos. Para que la centralita pueda convertir la información analógica que obtiene de los sensores a las magnitudes físicas que los sensores miden, se configuran unas tablas de calibración en la centralita. La calibración de este sensor está disponible en una hoja de características disponible en la página web de BOSCH 103[11]. Aunque BOSCH no es el fabricante del sensor, el sensor instalado en el proyecto es equivalente al fabricado por BOSCH. En las siguientes tablas se muestran los datos introducidos en la centralita para calibrar estos sensores.

Presión (kPa)	Tensión (V)
20	0,4
250	4,65

Tabla 7: Calibración del sensor de presión de admisión

Temperatura (°C)	Resistencia (Ω)
-40	45303
0	5895
100	186,6

Tabla 8: Calibración del sensor de temperatura de la admisión

4.4.6.7 Sensor de posición de la mariposa del acelerador

Este sensor se conecta a la centralita mediante 3 pines que cumplen las funciones de alimentación a 5V, tierra y señal del sensor. La salida de este sensor es una tensión entre 0 y 5V, que la centralita usa para conocer la posición de la mariposa del acelerador y así conocer la carga que el conductor está demandando del motor. El sensor necesita de calibración, que se realiza desde la centralita.

Primero se deja el acelerador suelto y se graba la señal que recibe la centralita como 0%. Luego se mantiene el acelerador completamente pisado y se graba la señal como 100%. Como se trata de un sensor activo con una salida de señal lineal, con estos dos puntos el sensor está completamente definido.

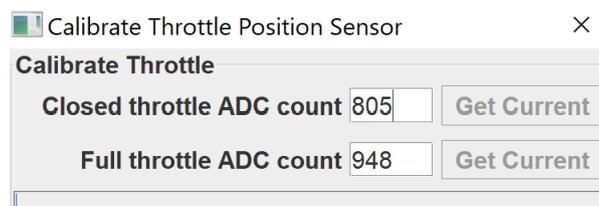


Figura 52: Calibración del sensor de posición de mariposa

4.4.6.8 Sensor de temperatura del agua de refrigeración

La centralita usa este sensor para conocer la temperatura del motor y poder ajustar el comportamiento de este para un mejor funcionamiento, especialmente en frío. Se trata de un sensor de tipo NTC, negative temperature coefficient, que se basa en la variación de la resistencia eléctrica interna del sensor en función de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura disminuye la resistencia eléctrica. La centralita calcula la resistencia para conocer la temperatura del sensor. Como no se trata de un sensor activo, los 2 pines de conexión no tienen polaridad. Al contrario que el resto de sensores usados en este proyecto, este no dispone de un conector ya instalado en los cables del sensor. Se instala un conector de 2 pines en los cables del sensor y en el cableado del coche con el objetivo de poder

desconectarlo por este punto si fuese necesario en el futuro como parte de alguna tarea de mantenimiento o reparación.



Figura 53: Sensor de temperatura del refrigerante con conector

Para calibrar el sensor es necesario conocer la temperatura y la resistencia del sensor en tres puntos distintos:

- 0°C introduciendo el sensor en una mezcla de agua y hielo y midiendo la resistencia con un multímetro digital.
- 100°C introduciendo el sensor en agua hirviendo y midiendo la resistencia con un multímetro digital.
- Temperatura ambiente, dejando que el sensor se ponga a la temperatura de la sala. Con un termómetro se conoce la temperatura de la sala y con un multímetro digital se mide la resistencia del sensor.

En la Tabla 9 se muestran los datos medidos en estos 3 puntos.

Temperatura (°C)	Resistencia (Ω)
0	123500
15	65500
100	4500

Tabla 9: Calibración del sensor de temperatura del refrigerante

4.4.7 Programación

En esta segunda fase del proyecto se añade la configuración necesaria para el funcionamiento de los inyectores sobre la configuración realizada en la fase anterior, cuando solo el encendido estaba controlado por la centralita. El funcionamiento de los inyectores es más complejo de configurar que el encendido electrónico debido a que es necesario ajustar más parámetros y los efectos de los ajustes tienen un impacto mayor en el funcionamiento del motor.

En primer lugar, se introduce la información relativa a los inyectores y su funcionamiento.

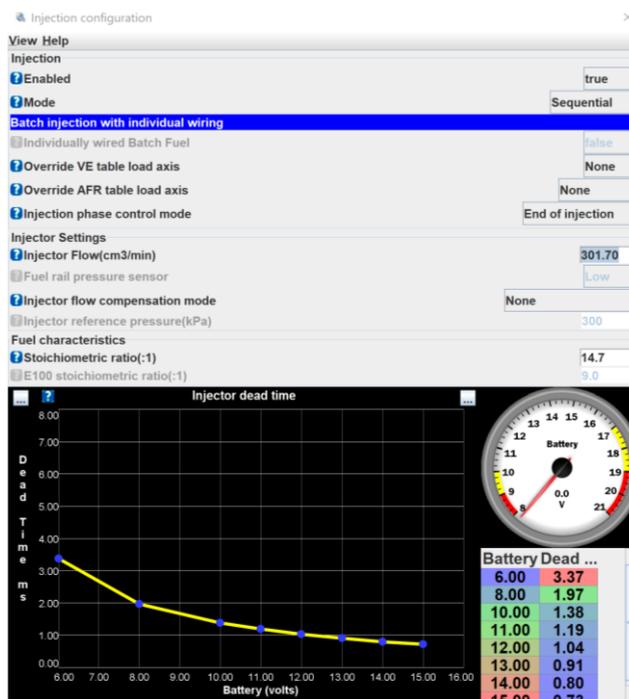
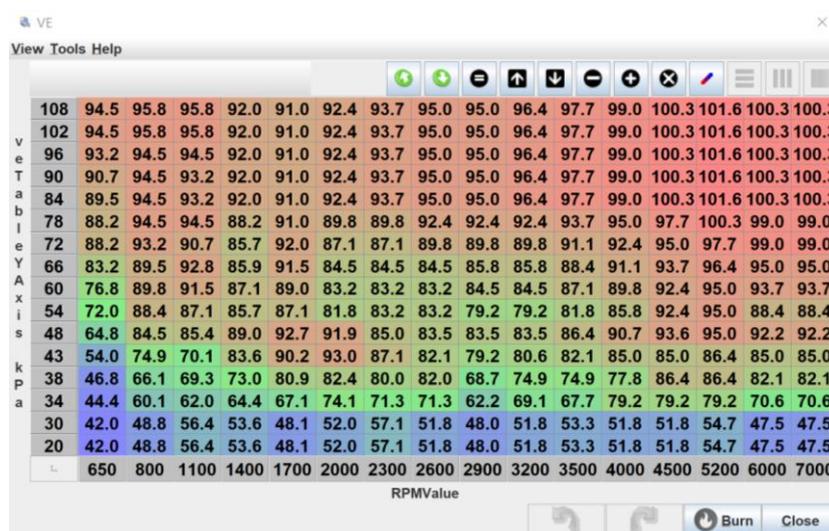


Figura 54: Configuración de los inyectores

El primer parámetro sirve para activar la inyección. Si se encuentra desactivado, los inyectores no reciben señales de la centralita. Puede ser necesario desactivar los inyectores para realizar algunas comprobaciones o pruebas al motor. Este parámetro se encontraba desactivado en la fase anterior. El modo de funcionamiento de los inyectores para este proyecto es secuencial, ya que se dispone de un inyector por cilindro. La sincronización de los inyectores se puede ajustar mediante una tabla. Este ajuste es necesario realizarlo con el

motor en funcionamiento. Para los primeros ajustes no tiene relevancia la sincronización de los inyectores, de modo que se mantiene en la configuración por defecto. Esta configuración fija el final de la inyección en 180 grados antes del punto muerto superior. Se introduce también el flujo de los inyectores. Cada modelo de inyector tiene un flujo distinto. Se selecciona el flujo adecuado para el tamaño del motor y la potencia que vaya a desarrollar. La centralita necesita conocer el flujo que entregan los inyectores, para calcular cuánto tiempo tienen que permanecer abiertos para inyectar la cantidad de combustible que requiere el motor. Los inyectores utilizados en este proyecto tienen un flujo de 301,7 cc/min. La gasolina tiene una relación de aire combustible estequiométrica de 14,7:1. La gráfica final describe el tiempo que tarda el inyector en abrirse dependiendo de la tensión de la batería. Cuanto mayor es la tensión, menos tiempo tardan en abrirse los inyectores. No se dispone de la caracterización de los inyectores usados de modo que se mantiene la gráfica con la configuración por defecto.

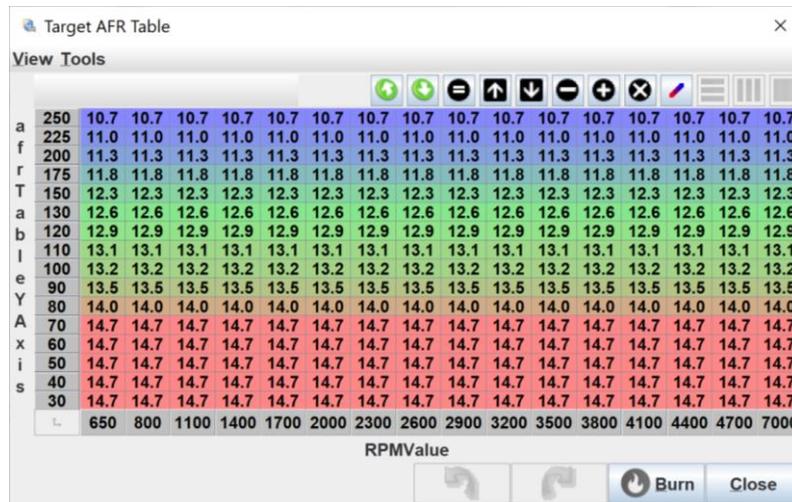
Para calcular la cantidad de combustible que tiene que inyectar, la centralita usa el modelo speed-density. Los motores que tienen inyección electrónica instalada de fábrica usan un sensor MAF (mass air flow) o caudalímetro para medir la cantidad de aire que entra en el motor. Como la centralita conoce la masa de aire que entra en el motor, puede calcular con facilidad la cantidad de gasolina que necesita inyectar para obtener la relación de aire y combustible deseada. En sistemas de inyección que suponen una modificación respecto al diseño original del motor se utilizan los sensores de presión y temperatura del aire de admisión para conocer la densidad del aire que entra en los cilindros. Este último es el programa que se va a utilizar en el proyecto. La centralita dispone de la tabla VE, mostrada en la Figura 55, donde se encuentra descrita la eficiencia volumétrica del motor para diferentes grados de carga y regímenes de giro.



	650	800	1100	1400	1700	2000	2300	2600	2900	3200	3500	4000	4500	5200	6000	7000
108	94.5	95.8	95.8	92.0	91.0	92.4	93.7	95.0	95.0	96.4	97.7	99.0	100.3	101.6	100.3	100.3
102	94.5	95.8	95.8	92.0	91.0	92.4	93.7	95.0	95.0	96.4	97.7	99.0	100.3	101.6	100.3	100.3
96	93.2	94.5	94.5	92.0	91.0	92.4	93.7	95.0	95.0	96.4	97.7	99.0	100.3	101.6	100.3	100.3
90	90.7	94.5	93.2	92.0	91.0	92.4	93.7	95.0	95.0	96.4	97.7	99.0	100.3	101.6	100.3	100.3
84	89.5	94.5	93.2	92.0	91.0	92.4	93.7	95.0	95.0	96.4	97.7	99.0	100.3	101.6	100.3	100.3
78	88.2	94.5	94.5	88.2	91.0	89.8	89.8	92.4	92.4	93.7	95.0	97.7	100.3	99.0	99.0	
72	88.2	93.2	90.7	85.7	92.0	87.1	87.1	89.8	89.8	89.8	91.1	92.4	95.0	97.7	99.0	99.0
66	83.2	89.5	92.8	85.9	91.5	84.5	84.5	84.5	85.8	85.8	88.4	91.1	93.7	96.4	95.0	95.0
60	76.8	89.8	91.5	87.1	89.0	83.2	83.2	83.2	84.5	84.5	87.1	89.8	92.4	95.0	93.7	93.7
54	72.0	88.4	87.1	85.7	87.1	81.8	83.2	83.2	79.2	79.2	81.8	85.8	92.4	95.0	88.4	88.4
48	64.8	84.5	85.4	89.0	92.7	91.9	85.0	83.5	83.5	86.4	90.7	93.6	95.0	92.2	92.2	
43	54.0	74.9	70.1	83.6	90.2	93.0	87.1	82.1	79.2	80.6	82.1	85.0	85.0	86.4	85.0	85.0
38	46.8	66.1	69.3	73.0	80.9	82.4	80.0	82.0	68.7	74.9	74.9	77.8	86.4	86.4	82.1	82.1
34	44.4	60.1	62.0	64.4	67.1	74.1	71.3	71.3	62.2	69.1	67.7	79.2	79.2	79.2	70.6	70.6
30	42.0	48.8	56.4	53.6	48.1	52.0	57.1	51.8	48.0	51.8	53.3	51.8	51.8	54.7	47.5	47.5
20	42.0	48.8	56.4	53.6	48.1	52.0	57.1	51.8	48.0	51.8	53.3	51.8	51.8	54.7	47.5	47.5
10	650	800	1100	1400	1700	2000	2300	2600	2900	3200	3500	4000	4500	5200	6000	7000

Figura 55: Tabla VE

La centralita utiliza esta tabla para determinar la cantidad de aire que entra en los cilindros, al conocer la densidad del aire de admisión y la eficiencia volumétrica de los cilindros. Una vez la centralita conoce la cantidad de aire que entra en los cilindros, puede calcular la gasolina necesaria para obtener la relación de aire y combustible deseada. La relación aire-combustible deseada se encuentra en otra tabla similar a la tabla de eficiencia volumétrica, mostrada en la Figura 56. Esta tabla cuenta con casillas que en este proyecto no son alcanzables. Solo las casillas por debajo de 100 kPa son relevantes. Las casillas por encima de 100 kPa serían relevantes en el caso de tener la centralita instalada en un motor con sobrealimentación. Las casillas utilizadas habitualmente tienen todas el mismo valor de relación aire combustible, 14.7, la estequiométrica para la gasolina. Solo las casillas utilizadas cuando el motor se encuentra bajo una alta carga tienen una relación de aire combustible ligeramente rica, hasta 13.5.



	650	800	1100	1400	1700	2000	2300	2600	2900	3200	3500	3800	4100	4400	4700	7000
250	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
225	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
200	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
175	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
150	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3
130	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6
120	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9
110	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1
100	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2
90	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
80	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
70	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
60	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
50	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
40	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
30	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7

Figura 56: Tabla AFR

4.4.7.1 Arranque

La centralita dispone de ajustes específicos para el arranque. Estos ajustes permiten modificar el comportamiento de la centralita respecto del comportamiento normal para facilitar el arranque.



Figura 57: Ajustes para el arranque del motor

El límite de régimen de arranque define la velocidad de giro máxima del motor para que se apliquen los ajustes de arranque. En el apartado de combustible, durante el arranque, los

inyectores se activan en modo simultáneo. En este modo, todos los inyectores se activan al unísono. Además, la cantidad de combustible que se inyecta se mantiene fija, en lugar de ser calculada como durante el funcionamiento normal del motor. Durante el arranque, la lectura del sensor de presión del aire de la admisión no es estable y no permite calcular con precisión la cantidad de combustible que necesita inyectar la centralita. Si la cantidad de combustible se mantiene fija, la inestabilidad de las medidas no afecta al arranque. Para estimar la cantidad de combustible a inyectar, se ha empezado sobre la cantidad usada para un Mazda MX-5 con motor de 1,6 litros y se ha aumentado hasta 32 mg tras varios arranques. La configuración del encendido se ha mantenido por defecto. Los ajustes de la válvula de control del ralentí se han refinado aumentando la apertura de la válvula y reduciendo el tiempo hasta que se aplican los ajustes del ralentí.

En la configuración inicial estaba activado el ajuste “faster engine spin-up”. Este ajuste permite a la centralita activar los inyectores y el encendido 90 grados de giro después de encontrar el punto muerto superior. Esto permite que el motor arranque con menos giros del motor eléctrico de arranque. Sin embargo, la centralita no era capaz de encontrar el punto muerto superior con precisión y activaba el encendido de manera desincronizada. Al activarse el encendido en puntos erróneos, la mezcla podía prenderse en momentos que no provocan el arranque del motor. Si ocurría demasiado temprano, ralentizaba el giro del motor de arranque. Si ocurría demasiado tarde, la explosión estaba ocurriendo mientras se abría la válvula de escape, provocando un sonido de explosión en el tubo de escape. Al desactivar este ajuste, la centralita requiere varias rotaciones completas para determinar la sincronización del motor y asegurarse de la situación del punto muerto superior. Aunque requiere de más rotaciones para que la centralita active los inyectores y el encendido, evita la combustión de la mezcla dentro de los cilindros en momentos erróneos.

En la Figura 58 se muestra la gráfica que ajusta la cantidad de gasolina que inyecta durante el arranque dependiendo de la temperatura del refrigerante del motor. La cantidad de combustible para el arranque se ha fijado anteriormente. Sin embargo, el motor necesita más combustible para arrancar a medida que la temperatura del motor es menor. Para ajustar este

comportamiento, la centralita usa esta gráfica para determinar la cantidad de combustible en relación con la temperatura, usando como base la cantidad indicada en la Figura 57.

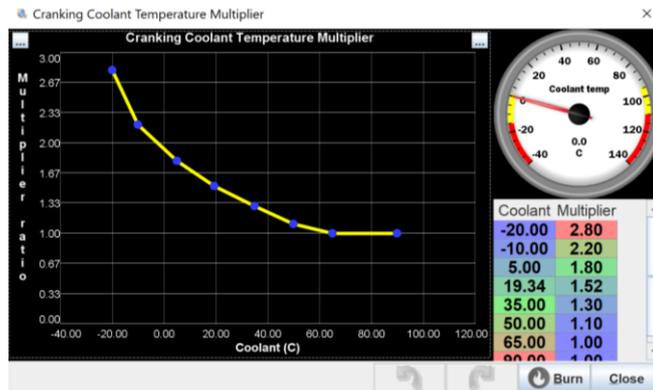


Figura 58: Gráfica de ajuste del combustible de arranque

Otros ajustes relevantes para el arranque del motor se encuentran junto a la configuración del ralentí y se comentarán junto con el resto de esos parámetros. El último ajuste para el arranque es el tornillo del ajuste del ralentí en la mariposa del acelerador. Este tornillo regula la cantidad de aire que puede entrar en la admisión del motor a través de un conducto en vez de tener que atravesar la mariposa. Cuanto más aire entra por este conducto, más sube el régimen del ralentí. Este tornillo cumple la misma función que la válvula de control del ralentí, pero no es ajustable por la centralita para mantener el motor en el régimen deseado. Para facilitar el arranque se va a colocar en la posición más abierta y se ajustará cuando el motor arranque de manera consistente y se pase a la configuración del ralentí.

4.4.7.2 Ralentí

Una vez el motor es capaz de arrancar de manera consistente, es necesario ajustar el ralentí para que cuando el motor arranque, este se mantenga estable. La centralita utiliza la válvula de control del ralentí para añadir aire durante el funcionamiento del motor al ralentí para ajustar el régimen de giro del motor. Cuanto mayor es la apertura de la válvula, más aire entra en la admisión del motor y mayor es el régimen de giro del motor al ralentí.

Para que la centralita conozca el tipo de válvula que va a utilizar y las características de esta, se ajustan los parámetros mostrados en la Figura 59.

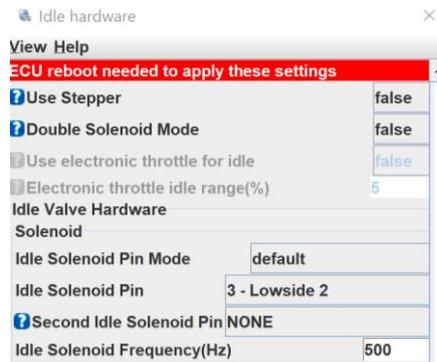


Figura 59: Ajuste de la válvula del ralenti

La válvula empleada en este proyecto es de tipo solenoide simple, que se especifica con los primeros dos ajustes de la figura. También se ajusta la frecuencia de la señal de la centralita para el funcionamiento adecuado del solenoide. Según las especificaciones de Mazda, esta válvula funciona a 500Hz. Por otro lado, se ajusta también el comportamiento de la centralita al ralenti y el modo en que esta reacciona a los cambios en el régimen de giro del motor.

Parte del control del ralenti se ajusta de manera manual, seleccionando el porcentaje de apertura de la válvula de control del ralenti. Para afinar el ralenti y ajustarlo a las condiciones cambiantes se utiliza un control PID.

La Figura 60 muestra la gráfica que describe el régimen de giro del motor al ralenti para diferentes temperaturas del refrigerante. El motor funciona a un régimen superior cuando está frío para que el ralenti se mantenga más estable y el motor alcance su temperatura de funcionamiento antes. El régimen se mantiene bajo cuando la temperatura deseada se ha alcanzado para reducir el consumo de combustible.

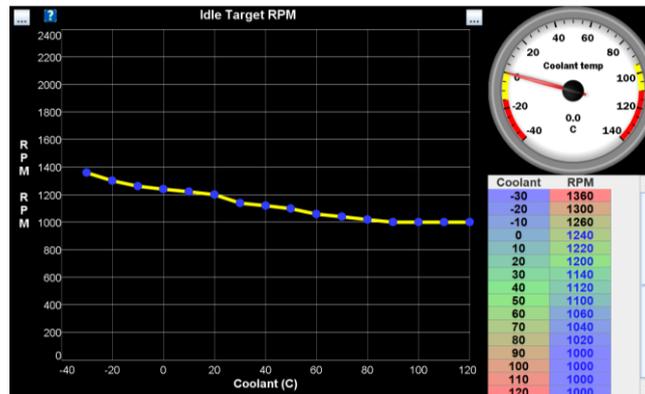


Figura 60: Gráfica de régimen de giro al ralentí

En la configuración actual del ralentí, el régimen de giro del motor está demasiado alto, 1500 rpm, muy superior al régimen objetivo. El tornillo de ajuste del aire del ralentí aún se encuentra abierto del ajuste del arranque y provoca que la centralita no pueda mantener el ralentí en los valores objetivo debido a un exceso de aire. A continuación, se cierra el tornillo de ajuste lentamente para que la centralita pueda compensar la bajada de aire en la admisión abriendo la válvula de control. Como el tornillo de ajuste ahora no permite pasar la misma cantidad de aire que cuando se ajustó el arranque, ahora los ajustes del arranque tienen una falta de aire. Para corregirlo, se aumenta la apertura de la válvula del ralentí durante el arranque. El número se ajusta hasta que el motor vuelve a arrancar de manera satisfactoria.

Una vez la centralita es capaz de controlar el aire que recibe el motor funcionando al ralentí, es necesario ajustar la cantidad de combustible que se inyecta. La relación de aire y combustible se muestra en el reloj del sensor de oxígeno en el escape. Al ralentí, la relación de aire y combustible deseada es la estequiométrica, que para gasolina es de 14,7. Si la mezcla es demasiado rica, sobra combustible, el reloj muestra una relación inferior a 14,7. Si es demasiado pobre, el reloj muestra una relación superior a 14,7. Es preferible estar de momento en una mezcla más rica, ya que supone un riesgo menor para el motor y es más fácil que el motor funcione adecuadamente. Las mezclas ligeramente ricas son más fáciles de encender con las bujías. La mezcla se ajusta cambiando las casillas de la tabla de eficiencia volumétrica que la centralita utiliza para calcular el combustible que inyecta. La relación de aire y combustible se encuentra demasiado rica, por debajo de 14,7. Para

empobrecer la mezcla se reduce la eficiencia volumétrica de las casillas entre 800 y 1400 rpm y entre 30 y 38 kPa en la admisión. Al ser menor la eficiencia volumétrica, la centralita calcula que hay menos aire dentro de los cilindros, inyecta menos combustible y la relación de aire y combustible sube. El mismo proceso se sigue, pero a la inversa, si la relación fuese demasiado pobre. Se ajustan las casillas hasta que la relación de aire y combustible se mantiene relativamente estable cerca de la relación estequiométrica. Es un proceso iterativo, en el que al cambiar los parámetros relativos a la cantidad de aire que entra en la admisión, la relación aire combustible cambia y necesita reajuste. Estos ajustes se tienen que realizar con el motor a la temperatura de funcionamiento, cuando la centralita no está añadiendo combustible extra para el funcionamiento en frío.

La sincronización de la inyección se ajusta cuando la ha terminado de ajustar el ralentí. La sincronización de la inyección fija el final de la inyección en 180° antes del punto muerto superior. Se adelanta la inyección para que, especialmente a baja carga, el combustible se inyecte mientras los cilindros se encuentran en su ciclo de admisión y con la válvula de admisión completamente abierta. Se busca el punto en el que el motor funciona de manera más estable y suave.

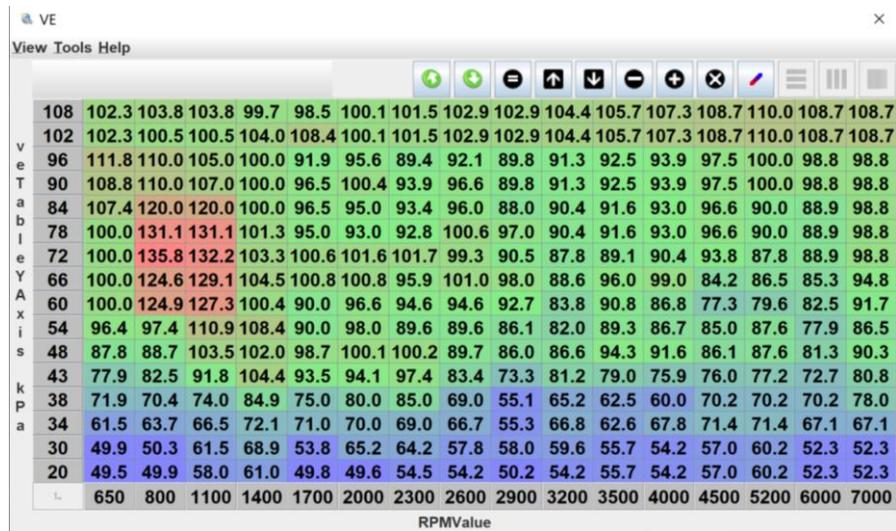
4.4.7.3 Funcionamiento estacionario

Una vez el motor es capaz de mantener un ralentí estable, se ajustan los parámetros del motor para regímenes superiores. Principalmente se ajustan las tablas de eficiencia volumétrica y avance del encendido. Con la tabla de eficiencia volumétrica se ajusta la cantidad de combustible que se inyecta en el motor. La tabla del encendido sirve para avanzar el encendido de manera dinámica según el régimen de giro y la carga del motor. Cuanto más se adelanta el encendido, más potencia genera el motor en las mismas condiciones, pero mayor es el riesgo de que ocurra autoinflamación del combustible en los cilindros.

Las tablas se ajustan habitualmente en un banco de rodillos, que permite someter al motor a diferentes grados de carga y velocidades sin desplazamiento y en el entorno controlado del

banco de pruebas. El coste por usar estos equipos es muy superior al presupuesto de este proyecto. La alternativa al banco de rodillos es ajustar las tablas en circulación por una carretera. El banco de pruebas tiene instrumentos para medir el comportamiento del motor, de los que no se dispone en la carretera. Sin embargo, es posible ajustar las tablas de la centralita exclusivamente con los sensores que tiene el coche y las sensaciones que transmite al conducirlo. Aunque estos ajustes no serán tan precisos y óptimos como los obtenidos en un banco y el motor no desarrollará toda la potencia que podría, son suficientes para conseguir que el motor funcione de manera segura y adecuada.

El proceso de ajustar las tablas se realiza idealmente con dos personas para que, mientras una conduce el vehículo, la otra realiza los cambios en las tablas. Se puede realizar con una persona, pero requiere parar el vehículo cada vez que se quiera realizar cambios en la centralita. Se ajusta principalmente la tabla de rendimiento volumétrico en búsqueda de la relación de aire y combustible estequiométrica. Al principio se conduce de manera suave y a bajo régimen. Estas son las casillas de la tabla que estarán ya más cerca del óptimo y por lo tanto no suponen un riesgo para el motor. Una vez se consigue que el motor funcione cerca del valor estequiométrico para estas casillas, se aumenta lentamente la carga del motor y el régimen de funcionamiento. Se repite el proceso hasta que la tabla entera está ajustada, mostrada en la Figura 61.



	650	800	1100	1400	1700	2000	2300	2600	2900	3200	3500	4000	4500	5200	6000	7000
108	102.3	103.8	103.8	99.7	98.5	100.1	101.5	102.9	102.9	104.4	105.7	107.3	108.7	110.0	108.7	108.7
102	102.3	100.5	100.5	104.0	108.4	100.1	101.5	102.9	102.9	104.4	105.7	107.3	108.7	110.0	108.7	108.7
96	111.8	110.0	105.0	100.0	91.9	95.6	89.4	92.1	89.8	91.3	92.5	93.9	97.5	100.0	98.8	98.8
90	108.8	110.0	107.0	100.0	96.5	100.4	93.9	96.6	89.8	91.3	92.5	93.9	97.5	100.0	98.8	98.8
84	107.4	120.0	120.0	100.0	96.5	95.0	93.4	96.0	88.0	90.4	91.6	93.0	96.6	90.0	88.9	98.8
78	100.0	131.1	131.1	101.3	95.0	93.0	92.8	100.6	97.0	90.4	91.6	93.0	96.6	90.0	88.9	98.8
72	100.0	135.8	132.2	103.3	100.6	101.6	101.7	99.3	90.5	87.8	89.1	90.4	93.8	87.8	88.9	98.8
66	100.0	124.6	129.1	104.5	100.8	100.8	95.9	101.0	98.0	88.6	96.0	99.0	84.2	86.5	85.3	94.8
60	100.0	124.9	127.3	100.4	90.0	96.6	94.6	94.6	92.7	83.8	90.8	86.8	77.3	79.6	82.5	91.7
54	96.4	97.4	110.9	108.4	90.0	98.0	89.6	89.6	86.1	82.0	89.3	86.7	85.0	87.6	77.9	86.5
48	87.8	88.7	103.5	102.0	98.7	100.1	100.2	89.7	86.0	86.6	94.3	91.6	86.1	87.6	81.3	90.3
43	77.9	82.5	91.8	104.4	93.5	94.1	97.4	83.4	73.3	81.2	79.0	75.9	76.0	77.2	72.7	80.8
38	71.9	70.4	74.0	84.9	75.0	80.0	85.0	69.0	55.1	65.2	62.5	60.0	70.2	70.2	70.2	78.0
34	61.5	63.7	66.5	72.1	71.0	70.0	69.0	66.7	55.3	66.8	62.6	67.8	71.4	71.4	67.1	67.1
30	49.9	50.3	61.5	68.9	53.8	65.2	64.2	57.8	58.0	59.6	55.7	54.2	57.0	60.2	52.3	52.3
20	49.5	49.9	58.0	61.0	49.8	49.6	54.5	54.2	50.2	54.2	55.7	54.2	57.0	60.2	52.3	52.3
L	650	800	1100	1400	1700	2000	2300	2600	2900	3200	3500	4000	4500	5200	6000	7000

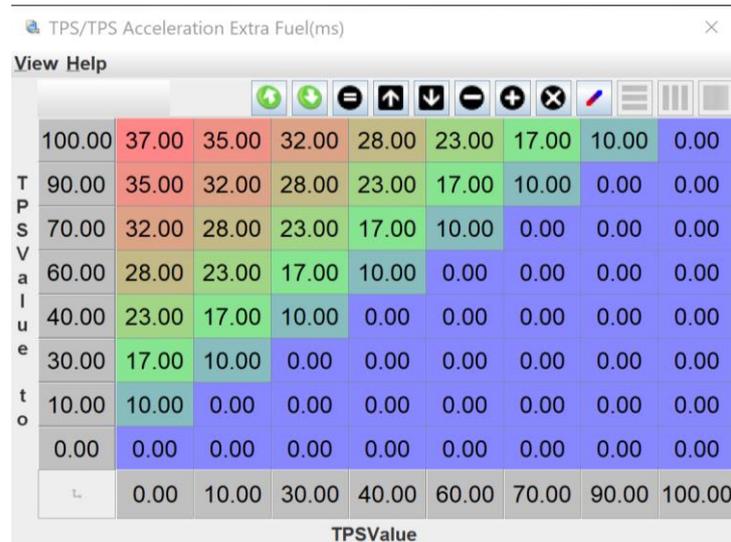
Figura 61: Tabla VE ajustada

4.4.7.4 Funcionamiento dinámico

Cuando la centralita está ajustada para el funcionamiento del motor en situaciones estacionarias, se puede empezar a ajustar el comportamiento dinámico. Un vehículo está sometido a cargas que varían constantemente, por lo que no es suficiente con conseguir que el motor se comporte adecuadamente con cargas constantes. En la configuración actual, el motor no se mantiene estable cuando cambia la apertura del acelerador. Cuando se acelera el motor desde el ralenti, se empobrece considerablemente la mezcla. La relación de aire combustible sube por encima de 18:1, el máximo que puede leer el sensor. Al empobrecerse la mezcla tanto, el motor no tiene ninguna fuerza y, si el acelerador se abre lo suficiente, el motor llega a calarse. Para solucionar este problema se van a realizar dos ajustes.

El primero ajuste es la introducción de la tabla mostrada en la Figura 62. Mediante esta tabla, la centralita enriquece la mezcla cuando hay un cambio en la posición del acelerador. En las columnas está la posición del acelerador de partida y en las filas, la posición del acelerador a la que se llega. La tabla describe el tiempo de apertura extra de los inyectores cuando ocurre un cambio en la posición del acelerador. El carburador instalado en el GTX originalmente tiene una bomba que introduce más combustible a través de un conducto en

el aire de la admisión. Cuanto mayor es el cambio en la posición del acelerador, más movimiento tiene el diafragma de la bomba y más combustible se añade.



TPS Value	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00
100.00	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00
90.00	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00
80.00	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00
70.00	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00
60.00	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00
50.00	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00
40.00	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00
30.00	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00
20.00	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00
10.00	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00
0.00	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00

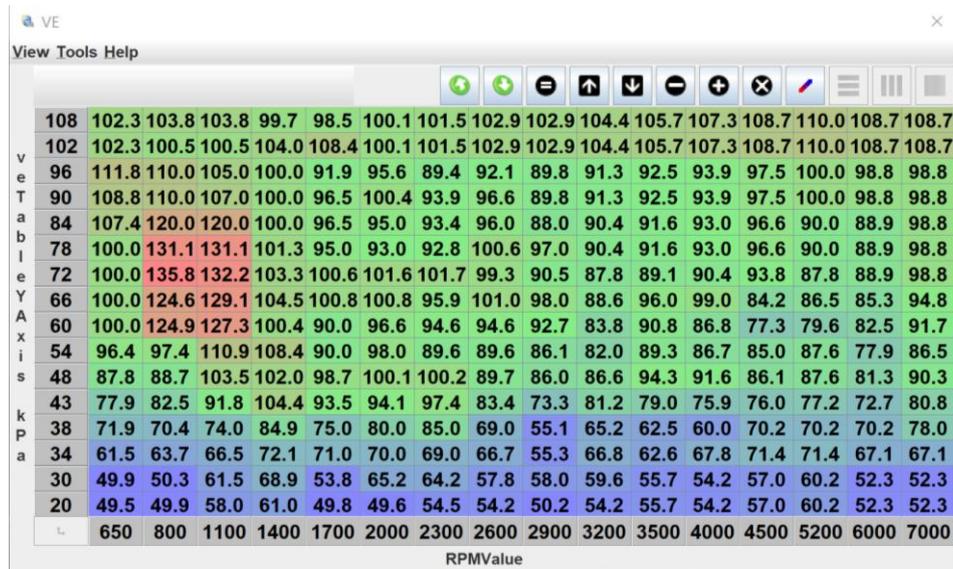
Figura 62: Tabla enriquecimiento por posición del acelerador

Aún después de realizar este cambio, cuando el motor se encuentra al ralentí y se acelera, la mezcla sigue siendo excesivamente pobre, aunque se mantiene dentro del rango de medida del sensor.

El segundo cambio es en la tabla de eficiencia volumétrica. Las casillas que se encuentran a bajas vueltas, entre 800 y 1100 rpm, pero con altos grados de carga, se modifican para aumentar la cantidad de combustible inyectada al pisar el acelerador desde el ralentí, aumentando la eficiencia volumétrica en esas casillas. Modificando solo las casillas que se encuentran en el régimen de ralentí y con mayor carga en el motor se consigue modificar el comportamiento de la inyección exclusivamente cuando se parte desde el ralentí. Como el motor se acelera después del aumento de carga, aumenta el régimen de giro y se sale de las casillas modificadas.

Después de realizar estos cambios, cuando se pisa el acelerador para aumentar la carga del motor, la relación de aire combustible se reduce ligeramente, pero no llega a bajar lo suficiente como para que el motor se vuelva inestable. Es normal que la relación de aire

combustible se reduzca ligeramente, al aumentar muy rápidamente la cantidad de aire que entra en los cilindros y la centralita no ser capaz de responder a los cambios con tanta velocidad como el acelerador abre la mariposa.



	650	800	1100	1400	1700	2000	2300	2600	2900	3200	3500	4000	4500	5200	6000	7000
108	102.3	103.8	103.8	99.7	98.5	100.1	101.5	102.9	102.9	104.4	105.7	107.3	108.7	110.0	108.7	108.7
102	102.3	100.5	100.5	104.0	108.4	100.1	101.5	102.9	102.9	104.4	105.7	107.3	108.7	110.0	108.7	108.7
96	111.8	110.0	105.0	100.0	91.9	95.6	89.4	92.1	89.8	91.3	92.5	93.9	97.5	100.0	98.8	98.8
90	108.8	110.0	107.0	100.0	96.5	100.4	93.9	96.6	89.8	91.3	92.5	93.9	97.5	100.0	98.8	98.8
84	107.4	120.0	120.0	100.0	96.5	95.0	93.4	96.0	88.0	90.4	91.6	93.0	96.6	90.0	88.9	98.8
78	100.0	131.1	131.1	101.3	95.0	93.0	92.8	100.6	97.0	90.4	91.6	93.0	96.6	90.0	88.9	98.8
72	100.0	135.8	132.2	103.3	100.6	101.6	101.7	99.3	90.5	87.8	89.1	90.4	93.8	87.8	88.9	98.8
66	100.0	124.6	129.1	104.5	100.8	100.8	95.9	101.0	98.0	88.6	96.0	99.0	84.2	86.5	85.3	94.8
60	100.0	124.9	127.3	100.4	90.0	96.6	94.6	94.6	92.7	83.8	90.8	86.8	77.3	79.6	82.5	91.7
54	96.4	97.4	110.9	108.4	90.0	98.0	89.6	89.6	86.1	82.0	89.3	86.7	85.0	87.6	77.9	86.5
48	87.8	88.7	103.5	102.0	98.7	100.1	100.2	89.7	86.0	86.6	94.3	91.6	86.1	87.6	81.3	90.3
43	77.9	82.5	91.8	104.4	93.5	94.1	97.4	83.4	73.3	81.2	79.0	75.9	76.0	77.2	72.7	80.8
38	71.9	70.4	74.0	84.9	75.0	80.0	85.0	69.0	55.1	65.2	62.5	60.0	70.2	70.2	70.2	78.0
34	61.5	63.7	66.5	72.1	71.0	70.0	69.0	66.7	55.3	66.8	62.6	67.8	71.4	71.4	67.1	67.1
30	49.9	50.3	61.5	68.9	53.8	65.2	64.2	57.8	58.0	59.6	55.7	54.2	57.0	60.2	52.3	52.3
20	49.5	49.9	58.0	61.0	49.8	49.6	54.5	54.2	50.2	54.2	55.7	54.2	57.0	60.2	52.3	52.3

Figura 63: Casillas no estacionarias tabla VE

4.4.7.5 Ajustes finales

Las centralitas modernas, instaladas de fábrica en vehículos, son capaces de detener el aporte de combustible cuando el motor está descargado, pero funcionando a un régimen superior al ralentí. Esta situación ocurre con frecuencia cuando el vehículo está en movimiento, pero se quiere decelerar y el conductor deja el acelerador completamente cerrado. Durante el tiempo que el motor está funcionando de este modo, no consume combustible y se reduce la velocidad del vehículo. Este comportamiento no es posible conseguirlo con el carburador, ya que mientras haya aire entrando en el motor, el carburador mezcla combustible con el aire. Los ajustes relativos al corte de la inyección durante las deceleraciones se muestran en la Figura 64.

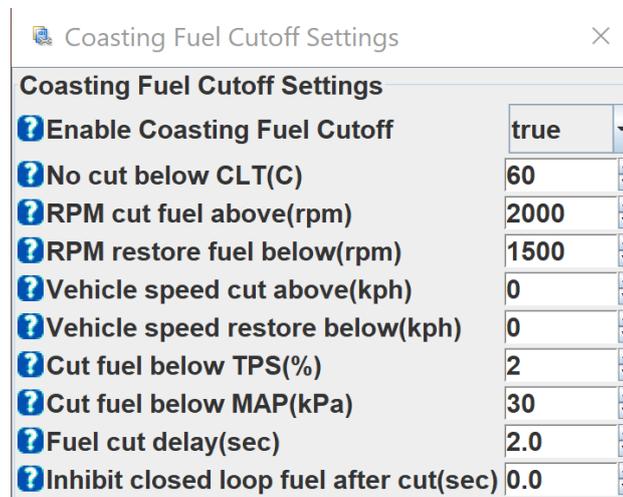


Figura 64: Ajustes para corte de combustible en deceleración

La centralita no activa el corte hasta que el motor ha alcanzado 60°C. El corte se activa cuando el motor está por encima de 2000 rpm y la posición del acelerador está por debajo del 2%. La centralita comienza a inyectar combustible de nuevo, después del corte, cuando el régimen de giro está por debajo de 1500 rpm. Para que la centralita active el corte de combustible, la presión del aire de la admisión tiene que ser menor de 30 kPa. Se fija el tiempo de retraso en la activación de este mecanismo, cuando se cumplen todos los criterios, en 2 segundos. Esto se hace para evitar que el corte se active en momentos erróneos, como cuando se realiza un cambio de marcha.

Para terminar los ajustes de la centralita, se fija el régimen máximo a 6500 rpm, el límite que tenía el motor cuando funcionaba con un carburador y el sistema de encendido original. El límite se fijó en un valor bajo para evitar posibles problemas mientras se realizaban los ajustes. Este límite se ha ido incrementando mientras se ajustaba el comportamiento de la centralita en el apartado de ajustes estacionarios y ahora se fija en el valor final.

Capítulo 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Gracias a la conversión del motor de carburación a inyección electrónica se ha logrado una reducción del consumo de combustible. Cuando el vehículo aún tenía instalado un carburador, se estimó el consumo de combustible en autopista. Aunque no es una medida realizada en laboratorio, dadas las condiciones relativamente estables de la conducción en autopistas, esta medida se puede utilizar para comparar el consumo del carburador y de la conversión.

Primero, se llena el tanque de combustible y se devuelve a 0 el odómetro. Después de recorrer una distancia suficientemente larga para que las imprecisiones de las medidas sean reducidas, se rellena el tanque de combustible. Con la distancia recorrida entre repostajes y la cantidad de combustible repostada al final de la prueba, se calcula el consumo relativo a la distancia recorrida.

El coche con el carburador instalado cubrió 474 km consumiendo 32,88 l de gasolina de 95 octanos. El consumo de combustible para este trayecto fue de 6,94 l/100km. Siguiendo el mismo método se realiza otra medida de consumo después de la conversión a inyección electrónica. El coche con el sistema de inyección instalado cubrió 382 km consumiendo 23,16 l de gasolina de 95 octanos. El consumo de combustible para este trayecto fue de 6,06 l/100km. Según los cálculos realizados, el consumo del vehículo en condiciones de autopista se ha reducido en un 12%. Debido a la instalación de la inyección electrónica, el motor opera con una relación de aire combustible estequiométrica en casi todo el rango de funcionamiento del motor. Cuando el motor operaba con un carburador, la mezcla de aire combustible estaba siempre por debajo de la relación estequiométrica y con una relación muy rica, cercana a 12:1, cuando el motor estaba bajo una alta carga, como una aceleración fuerte. Este comportamiento del carburador provoca que el consumo de combustible sea superior al consumo del sistema de inyección. Además, al contrario que la centralita, el

carburador no es capaz de detener el aporte de combustible cuando el vehículo se encuentra en una deceleración. La consecuencia de mantener la relación de aire combustible en la estequiométrica es que el motor desarrolla menos potencia que cuando tenía instalado un carburador y, en aceleraciones, la relación aire combustible se volvía rica.

5.2 EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO

Además de reducir el consumo, otro objetivo del proyecto es reducir las emisiones del vehículo. Las emisiones principales de un motor de gasolina son el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos (HC). La producción de CO y HC es superior cuando la combustión ocurre con una relación de aire combustible rica. Estos productos están relacionados con la combustión con falta de oxígeno. El combustible que no llega a la combustión completa produce hidrocarburos no quemados y al haber falta de oxígeno, una parte del carbono no es capaz de llegar a convertirse en CO₂ y se mantiene como CO. La producción de NO_x está relacionada con el exceso de oxígeno durante la combustión y una temperatura de combustión elevada. Esta combinación de condiciones se produce cuando la relación de aire combustible es ligeramente pobre y por lo tanto en este estado la producción de NO_x es máxima. Las emisiones de NO_x se reducen a medida que la relación se vuelve más pobre o rica, siendo casi inexistente cuando la combustión es muy rica, por debajo de 12:1.

Las emisiones del vehículo se obtienen con un analizador de gases de escape. Todos los vehículos tienen que superar una prueba de emisiones con este equipo durante la inspección técnica de vehículos (ITV). No se dispone de este equipo para tomar medidas reales de las emisiones del motor, pero se pueden estimar con el gráfico mostrado en la Figura 65.

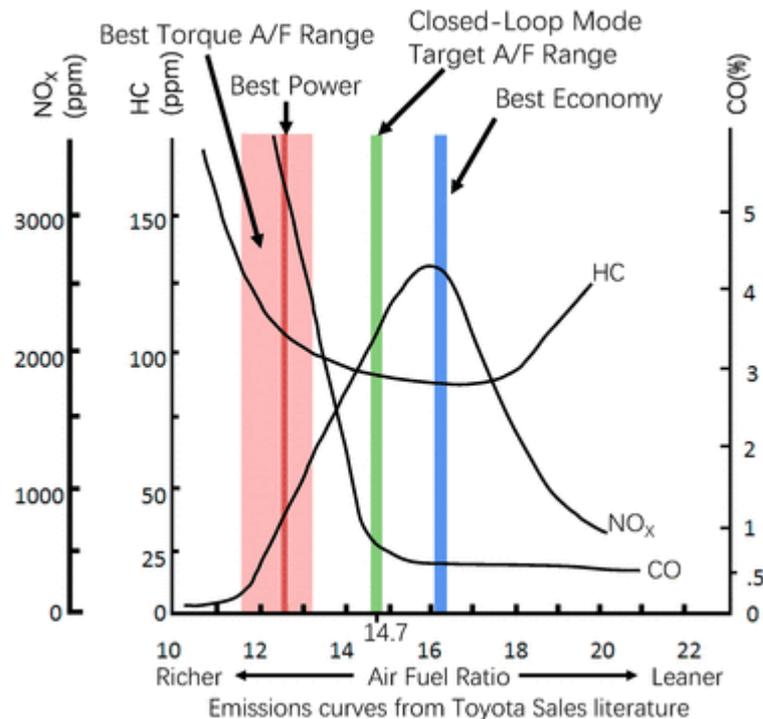


Figura 65: Emisiones de gases contaminantes dependiente de AFR [13]

Esta gráfica muestra la relación entre la relación de aire combustible y las emisiones de gases contaminantes. Los valores mostrados corresponden a los gases producidos por la combustión del motor sin un sistema de postratamiento instalado, como podría ser un catalizador.

La centralita ha sido configurada para mantener la relación de aire combustible en valor estequiométrico durante todo el funcionamiento del motor y con el sensor de oxígeno en el escape se comprueba que la relación con la que funciona el motor se mantiene en la estequiométrica realmente. Introduciendo esta relación en el gráfico se puede obtener una estima de las emisiones del motor. En la última ITV, cuando el coche aún tenía su carburador instalado, el valor de las emisiones de CO al ralentí era de 1,83%. Las emisiones estimadas con el sistema de inyección de combustible están entre 0,5% y 1%, aproximadamente 0,8%.

Gracias a la capacidad de la centralita para adaptar la inyección a las condiciones que experimenta el motor, la relación de aire combustible se mantiene constante, aunque cambien las condiciones. Esto provoca que las emisiones también sean constantes. Las

emisiones producidas por el motor con carburador varían dependiendo de las condiciones, debido a que el carburador no es capaz de ajustar el aporte de combustible para mantener la relación aire combustible constante. El carburador enriquece la mezcla a medida que el motor se encuentra bajo una carga mayor. Las emisiones producidas serán mayores en carga en comparación con el ralentí. Como la prueba de emisiones para vehículos de gasolina se realiza al ralentí, esta puede no ser representativa de las emisiones del motor cuando está en carga, especialmente para motores con carburación. El hecho de lograr una reducción de emisiones de CO en régimen de ralentí implica que las emisiones en el resto del rango de carga del motor son también menores y en mayor medida.

Aunque no se conocen las emisiones de otros contaminantes cuando el vehículo tenía instalado un carburador, según los datos mostrados en el gráfico anterior, se espera que las emisiones de HC se hayan reducido mientras que las emisiones de NOx hayan aumentado.

5.3 USABILIDAD, COMODIDAD Y FIABILIDAD

Por último, se aprecia un aumento de la facilidad de uso del coche. Gracias a la inyección electrónica, el motor arranca actualmente con más facilidad que cuando funcionaba con un carburador. El tiempo que el motor tarda en arrancar se ha reducido fuertemente, especialmente en arranques en frío o cuando el motor lleva días sin arrancar. La capacidad del sistema de inyección para ajustarse a las condiciones particulares de cada proceso de arranque reduce el tiempo que el motor tiene que estar girando con el motor de arranque eléctrico antes de conseguir arrancar. Además, debido a que el sistema de inyección utiliza una bomba de combustible eléctrica, aunque el motor no haya arrancado en días, el combustible tiene presión antes de comenzar el proceso de arranque. Cuando el motor no se había arrancado en días y tenía instalado el carburador, los primeros giros del motor se usaban para enviar gasolina al carburador mediante la bomba de combustible mecánica y eran necesarios hasta 15 segundos con el motor de arranque activado hasta que el coche arrancaba.

El carburador tiene una mariposa de arranque en frío, activado por el conductor mediante una pestaña en el interior del vehículo. Este dispositivo ayuda al motor a arrancar con mayor facilidad, enriqueciendo la mezcla durante el arranque. El conductor tiene que tomar la decisión de activar esta mariposa y la decisión debería ser depende de la temperatura del refrigerante del motor. Si el motor está caliente, no es necesario activar la mariposa de arranque en frío. Después de arrancar, dependiendo de la temperatura del aire y del motor, cuando se desactiva la mariposa de arranque en frío, es necesario pisar ligeramente el acelerador para mantener el motor en marcha.

La centralita no requiere de la intervención del conductor para facilitar el arranque al ajustarse automáticamente a las condiciones y una vez el motor ha arrancado, la centralita acelera el motor hasta el régimen deseado mediante la válvula de control de aire del ralentí. Cuando el motor tenía instalado un carburador, era posible ahogar el motor en combustible si se pisaba demasiado el acelerador durante el arranque. Al entrar demasiado combustible en los cilindros, el motor no arrancaba y era necesario girar el motor mediante el motor de arranque para limpiar el motor del combustible sobrante. Después de la conversión, el vehículo es más fácil de utilizar, especialmente por parte de un conductor que está acostumbrado al comportamiento de un coche moderno.

En la caja del filtro del aire hay una palanca que mueve una compuerta en el interior de la caja para variar la temperatura del aire. A la caja del filtro llegan dos conductos. Uno hace llegar aire frío desde el frontal del coche, a través de la parrilla. El otro conducto toma aire caliente de la parte posterior del motor, encima del colector de escape. El objetivo de este sistema es conseguir que la temperatura del aire que llega al carburador sea estable entre las estaciones del año. En invierno se toma aire del conducto caliente exclusivamente, en verano del conducto frío y en otoño y primavera una mezcla de ambos. Este sistema era necesario cuando el motor funcionaba con un carburador, ya que este no es capaz de ajustarse por sí solo a la temperatura del aire. El carburador se ajusta en unas condiciones concretas por un experto. Si la temperatura varía en exceso, la configuración del carburador será inadecuada y el motor no funcionará como se ajustó. Con la instalación del sistema de inyección, el sistema para calentar el aire de la admisión es innecesario, ya que la centralita ajusta su

comportamiento a la temperatura del aire. Los motores funcionan mejor con aire frío, al ser más denso y por lo tanto poder introducir más oxígeno en los cilindros para la combustión. Además, una temperatura menor en los cilindros permite avanzar ligeramente el encendido sin provocar autodetonación, produciendo el motor más potencia.

Además, se ha instalado un cargador USB para poder recargar dispositivos electrónicos en el coche. El objetivo de esta modificación es aumentar la comodidad para los ocupantes con un accesorio incorporado en todos los turismos a la venta actualmente.

5.4 COSTE DE LAS MODIFICACIONES

En la definición del trabajo se hizo una estimación del coste que tendrían las modificaciones. El coste real de los componentes se muestra en la Tabla 10.

Protección cables	19,27	Conectores tuberías	8,59
Caja de fusibles y relés	13,68	Bridas tuberías	13,26
Cables	39,42	Sensor temperatura	6,99
Cargador USB	5,33	Tuberías para refrigerante	27,42
Sensor AFR	114,23	Sensor posición árbol de levas	10,73
Conector de bobinas	6,44	Sensor MAP y IAT	10,68
Conector TPS	1,19	Bomba de combustible	38,28
Conector válvula ralentí	1,93	Bobinas de encendido	140,96
Cables bujías	16,96	Inyectores y rail de combustible	49,51
Conectores inyectores	7,53	Centralita	328,93
Conector panel de fuego	17,25	Materiales diversos	125,00
Tuberías para combustible	21,85	Material fabricación aditiva	80,50

Tabla 10: Costes de los componentes usados en el proyecto en €

El coste total de los componentes usados en este proyecto para la conversión de carburación a inyección es 1105,93€.

Capítulo 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Este proyecto ha consistido en la conversión de un Peugeot 205 GTX de 1988 de carburación a inyección electrónica. Se han realizado los cálculos necesarios para seleccionar los componentes necesarios para la transformación. Después de adquirir los componentes, se diseñan las piezas necesarias para instalar esos componentes en el coche que se centra el proyecto. Para finalizar, se ha ajustado el comportamiento de la inyección y se han comprobado los objetivos cubiertos respecto a los objetivos fijados.

Según los cálculos realizados, se ha conseguido una reducción de las emisiones de monóxido de carbono de más del 50% respecto a las emisiones originales y una reducción del consumo de combustible de aproximadamente 12%.

Aunque la conversión realizada en este proyecto otorga al vehículo ventajas y características propias de un coche moderno, el elevado coste de la modificación no está justificada para un coche que no se use con mucha frecuencia. Para un coche con uso muy frecuente, la fiabilidad y facilidad de uso añadida por la centralita puede ser suficiente para justificar la conversión. Las modificaciones realizadas en este proyecto también podrían ser adecuadas para un coche que se quiera usar en circuito, al poder ajustar el comportamiento del motor y poder instalar y controlar con la centralita otras modificaciones en búsqueda de mayores prestaciones con facilidad, como sobrealimentación o combustibles de mayor octanaje con alto contenido en etanol.

Este proyecto logra demostrar que se pueden modernizar coches antiguos de carburación mediante la instalación de un sistema de inyección personalizado para el modelo de vehículo y motor concretos.

6.1 TRABAJOS FUTUROS

Parte de un posible trabajo futuro sería terminar de ajustar el comportamiento de la centralita en un banco de rodillos, con el objetivo de conseguir una respuesta mejor del motor y obtener la cifra de potencia desarrollada por el motor para poder comparar las prestaciones de la inyección respecto al carburador. Además de una medida de potencia, se pueden medir las emisiones reales del motor, para verificar la reducción de emisiones que se ha calculado como resultado de la conversión.

Debido a que el motor ha cambiado de carburación a inyección, es posible instalar un catalizador de tres vías. Los catalizadores de tres vías necesitan que el motor funcione con una relación de aire combustible lo más próximo a la estequiométrica posible para que la eficiencia de conversión de los gases contaminantes sea óptima. Un carburador no está diseñado para mantener la relación de aire combustible estable, por lo que solo se puede instalar un catalizador de tres vías en un motor con inyección electrónica ajustada para funcionar en relación estequiométrica. Los catalizadores de tres vías combinan las características de los catalizadores de oxidación y de reducción. Un catalizador de oxidación actúa frente a las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos, mientras que un catalizador de reducción actúa frente a las emisiones de óxidos de nitrógeno.

Los cambios realizados al coche de este proyecto están catalogados por la normativa española como reformas de importancia. Para poder circular por las vías públicas españolas con un vehículo con reformas de importancia, es necesario homologar las modificaciones. El proceso de homologación de modificaciones en España es largo y costoso, y excede los límites de un trabajo de fin de máster. El proceso de homologación consiste en la realización de un proyecto técnico que describe las modificaciones y está firmado por un ingeniero colegiado. Las modificaciones tienen que ser realizadas en un taller certificado. Dependiendo del tipo de reforma realizada, el vehículo tiene que pasar por una serie de pruebas en laboratorio. Por último, el vehículo tiene que pasar un ITV, en la que se presta especial atención a los elementos modificados. Homologar las modificaciones realizadas sería el último trabajo para completar el proyecto y poder usar el coche en carretera.

Capítulo 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Payri, F., J. M. Desantes, “Motores de combustión interna alternativos”, Barcelona 2011.
- [2] Dirección General de Tráfico, Ministerio del Interior, “Anuario Estadístico General 2020”, ISSN: 2445-0197, https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/galleries/downloads/dgt-en-cifras/publicaciones/Anuario_Estadistico_General/Anuario-Estadistico-General-2020_version-on-line.pdf
- [3] Calculadora de Flujo de Inyección Deatschwerks, <https://deatschwerks.com/pages/fuel-injector-calculator>
- [4] Canton Racing Products Web, https://blog.cantonracingproducts.com/blog/how_to_estimate_your_engines_fuel_flow
- [5] Kit de conversión de carburación a inyección marca Holley, https://www.holley.com/products/fuel_systems/fuel_injection/sniper_efi/sniper_4bbl_tbi_kits/
- [6] MS2/V3.0 Hardware Manual https://www.megasquirt.co.uk/doc/pdf/MS2V30_Hardware-3.3.pdf
- [7] Ficha técnica Fillamentum PLA Extrafill, https://filament2print.com/es/index.php?controller=attachment&id_attachment=54
- [8] Ficha técnica Smartfill PETG, https://filament2print.com/es/index.php?controller=attachment&id_attachment=18
- [9] ABS Chemical Resistance, http://k-mac-plastics.com/data-sheets/abs_chemical_resistance.htm
- [10] HP 3D High Reusability PA 12 Datasheet, https://solitium.es/pdf/Impresora_3D/HP_3D_Datasheet_PA_12_Solitium.pdf
- [11] BOSCH, T-MAP Sensor, 2.5 bar & 130 deg C, 0 261 230 283, Datasheet, <https://www.bosch-motorsport-shop.com.au/t-map-sensor-2.5-bar-130-deg-c~110170>
- [12] Ficha técnica CEPESA Gasolina Óptima 95, https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Lubricantes/FICHA_OPTIMA_GAS_95.pdf

- [13] Wong, Pak-Kin; Gao, Xiang; Wong, Ka In; Vong, Chi-Man; Yang, Zhi-Xin, “Initial-training-free online sequential extreme learning machine based adaptive engine air–fuel ratio control”, *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 2019.

ANEXO

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Este proyecto está alineado con los siguientes objetivos de desarrollo sostenible.

Objetivo 12: producción y consumo responsables

Gracias a la conversión realizada en este proyecto se aumenta la facilidad de uso y comodidad del vehículo, que permite continuar usándolo durante más tiempo. Teniendo en cuenta que el proceso de fabricación de un vehículo tiene grandes emisiones asociadas, si se consigue seguir usando un vehículo que ya ha sido fabricado en vez de producir uno nuevo, no se provocan las emisiones y la contaminación asociados a la producción. Esta contaminación se puede deber a la obtención de nuevos recursos naturales, la producción, el transporte, etc. Además de la contaminación, la producción de nuevos vehículos requiere de la extracción de recursos naturales de la corteza terrestre. Aunque el coche del proyecto emite una cantidad superior de gases contaminantes en comparación con un coche nuevo, si se pretende conducir el vehículo poca distancia, el impacto de las emisiones durante el uso se reduce respecto a las emisiones totales.

Objetivo 13: acción por el clima

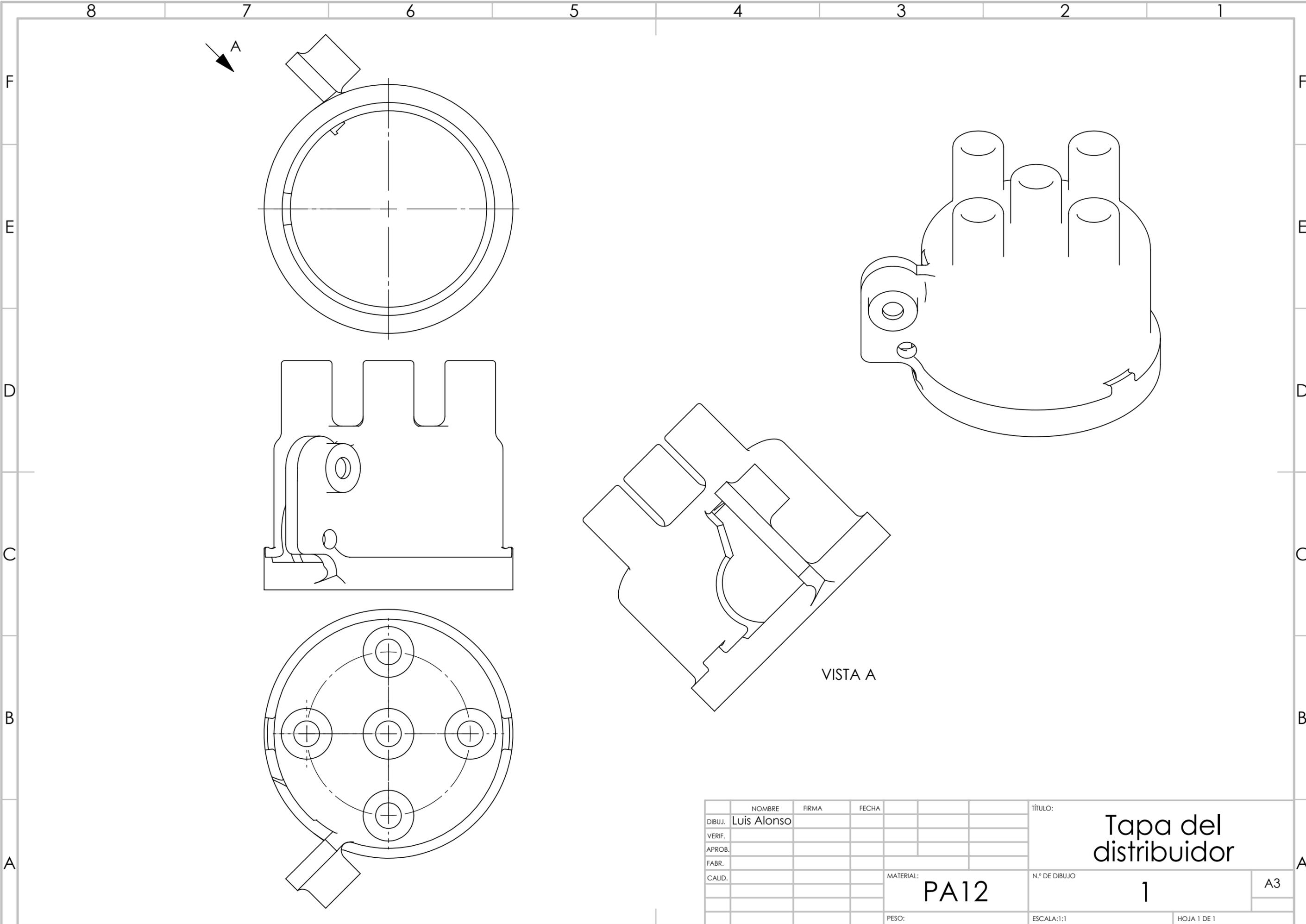
Según los resultados obtenidos en el cálculo de emisiones, gracias a la conversión realizada en el proyecto, las emisiones de monóxido de carbono del coche se han reducido fuertemente. También se ha obtenido una reducción del consumo de combustible. Las emisiones de gases contaminantes están, junto con los gases de efecto invernadero, entre los mayores peligros para el clima y reducir su emisión es la mejor manera de proteger el planeta.

PLANOS DE LOS COMPONENTES DISEÑADOS

En las próximas páginas se muestran los planos de los principales componentes diseñados especialmente para este proyecto en CAD.

Índice de planos:

- Tapa del distribuidor
- Rueda fónica
- Soporte de bobinas
- Refuerzo para el soporte de bobinas
- Colector de admisión
- Adaptador mariposa-caja del filtro
- Base del soporte de la bomba de combustible
- Tapa para la bomba de combustible



	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:	Tapa del distribuidor		
DIBUJ.	Luis Alonso				N.º DE DIBUJO			1
VERIF.								A3
APROB.								
FABR.								
CALID.				MATERIAL:	PA12			
				PESO:		ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1	

4 3 2 1

F

F

E

E

D

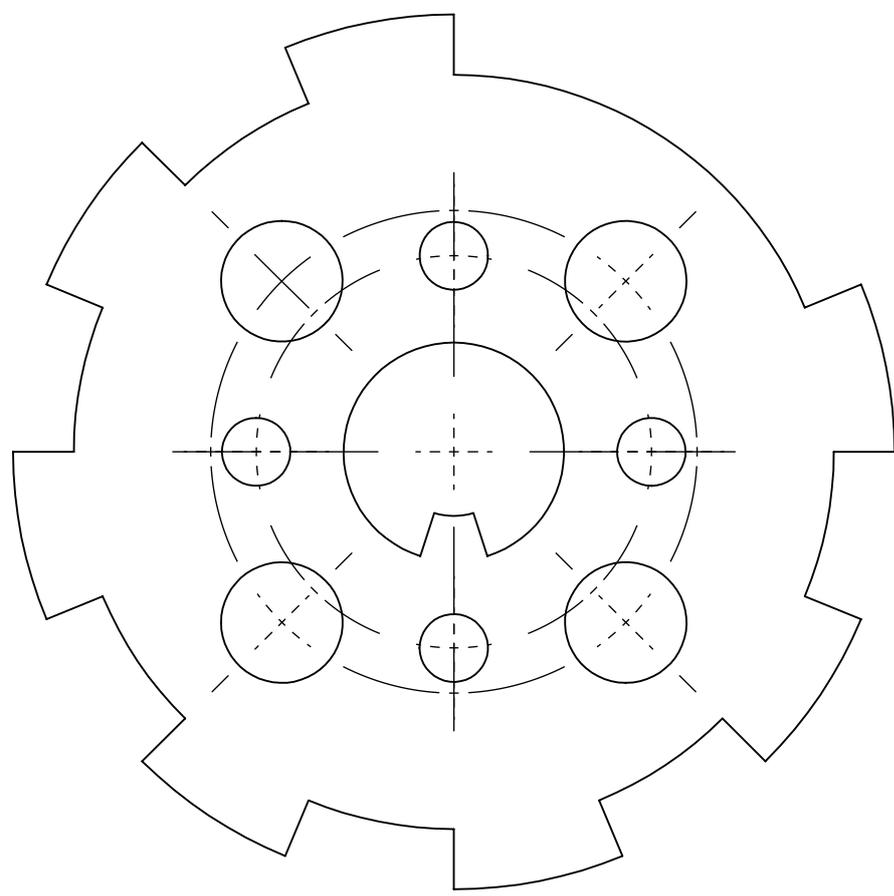
D

C

C

B

B



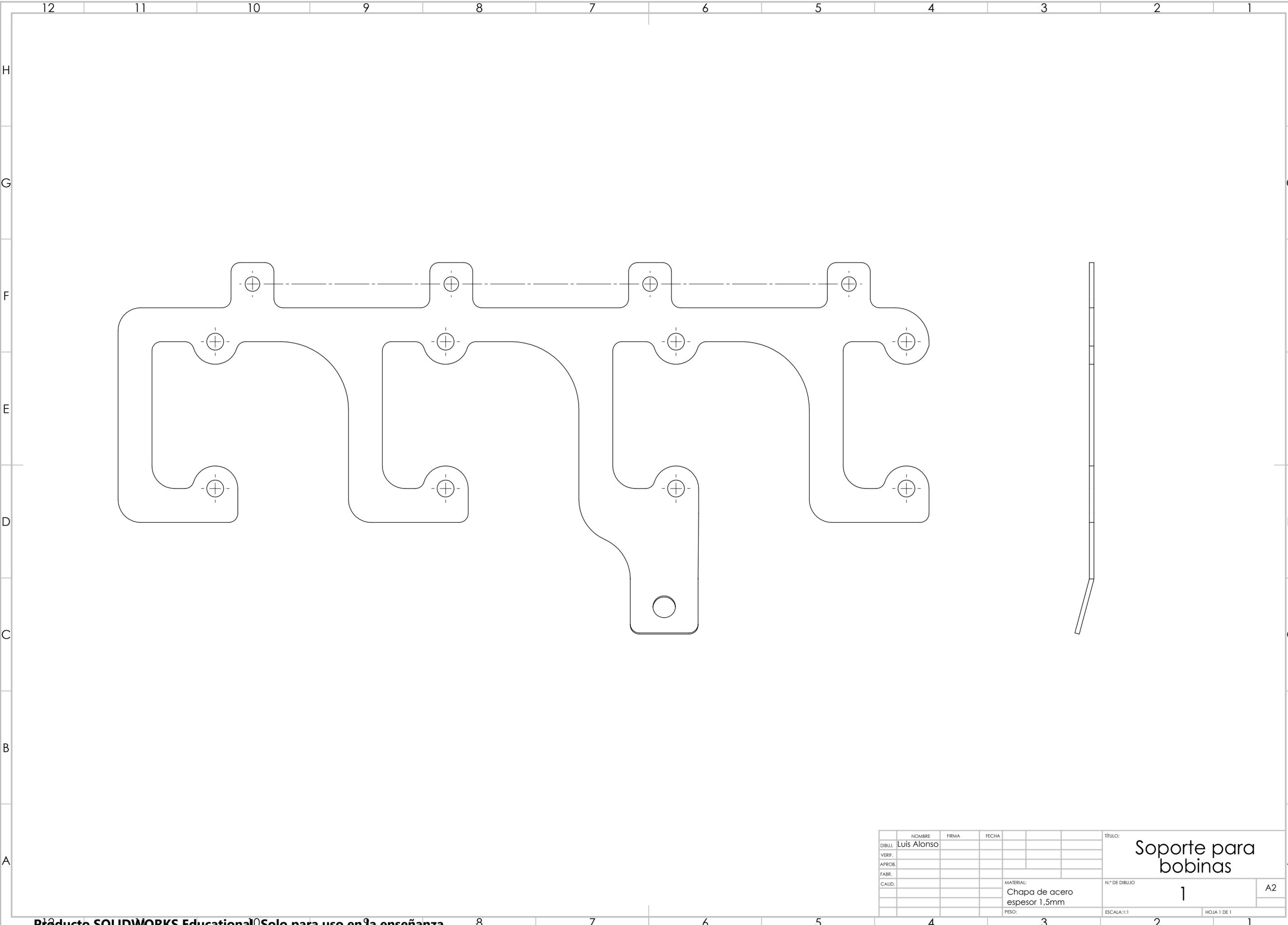
A

A

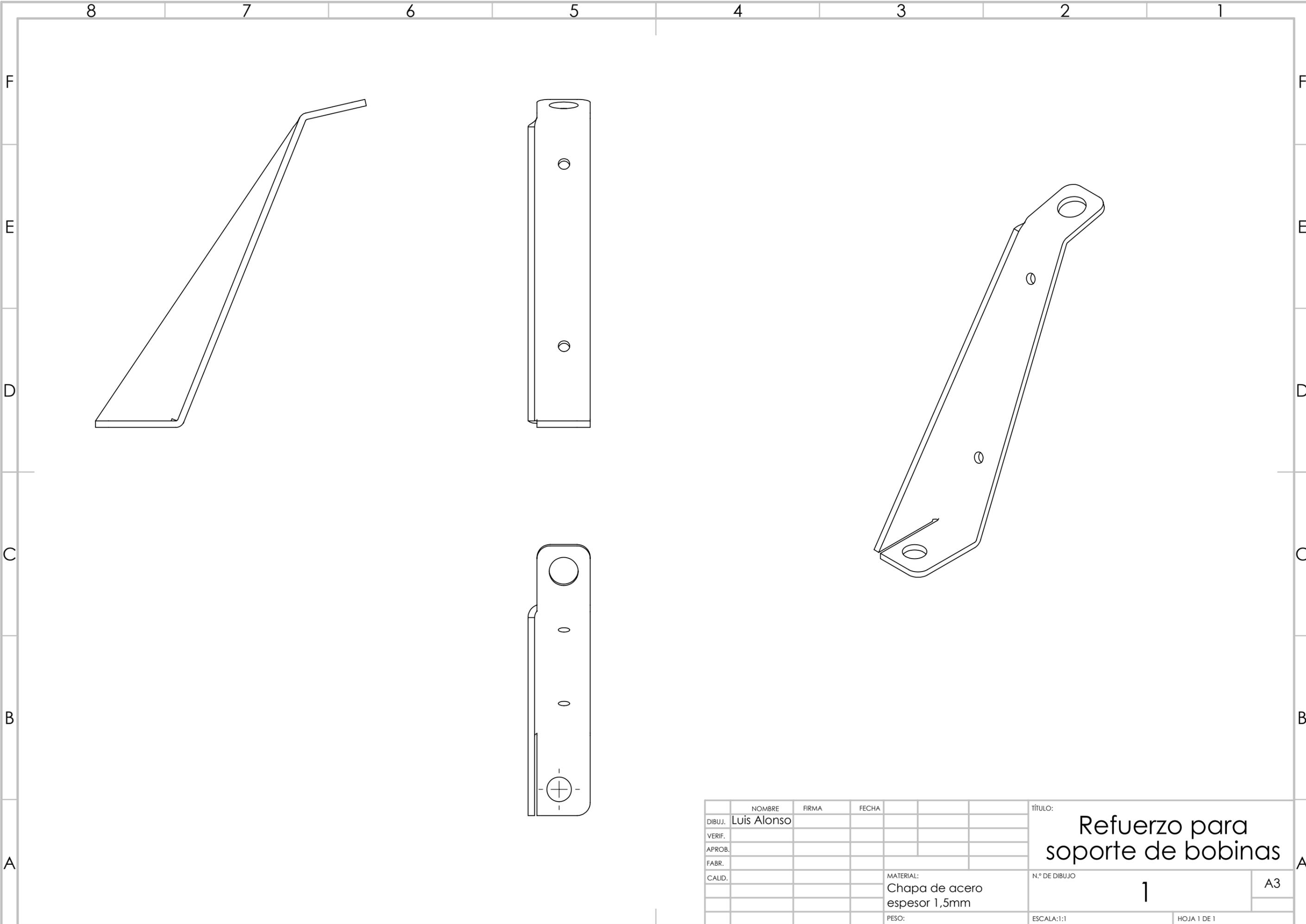
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Luis Alonso		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:	Rueda fónica	
N.º DE DIBUJO	1	A4
PESO:		ESCALA:2:1
		HOJA 1 DE 1

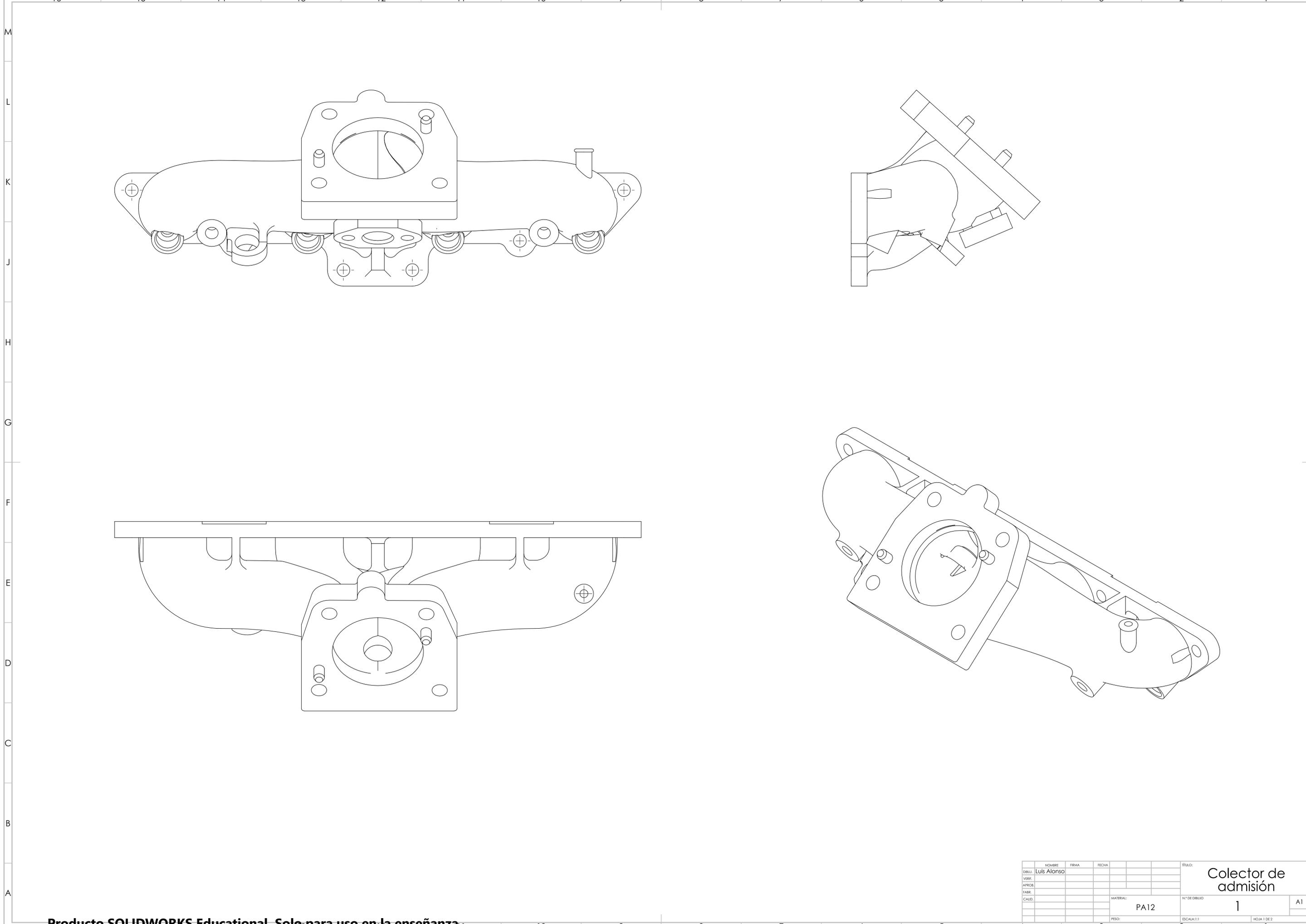
4 3 2 1



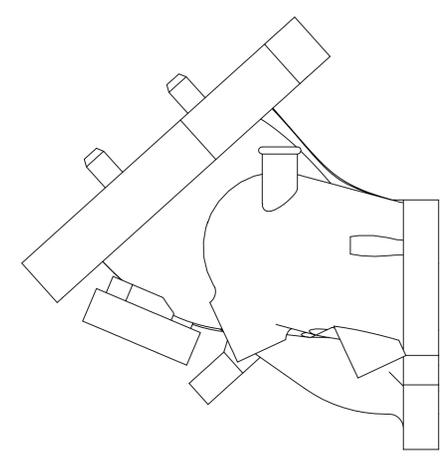
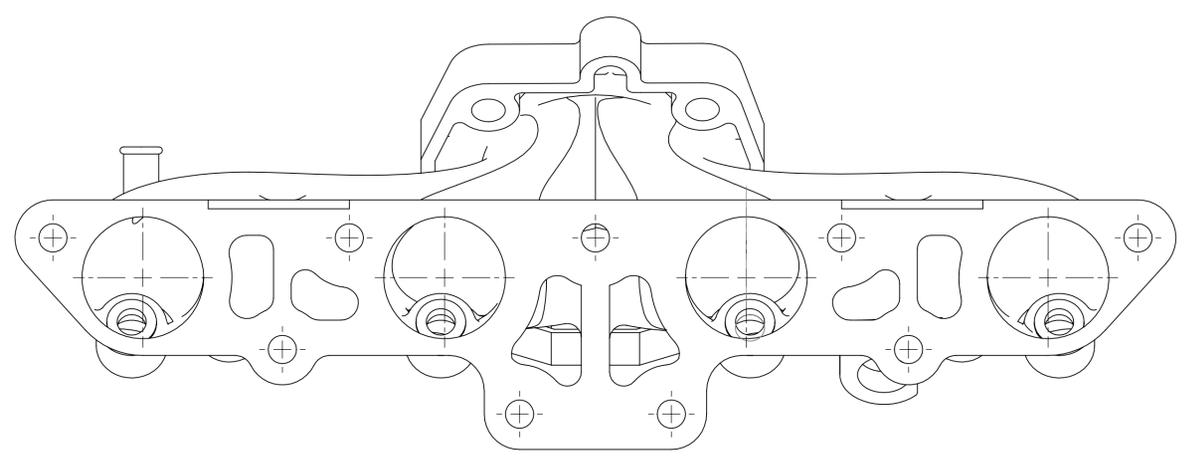
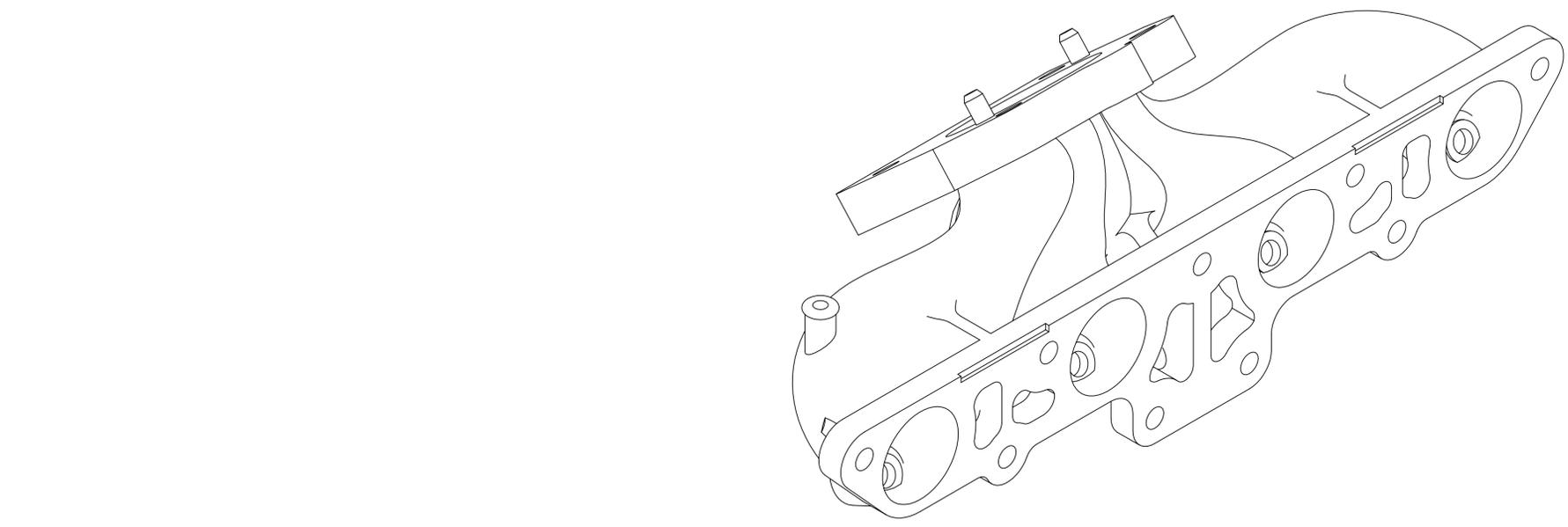
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:	Soporte para bobinas	
DIBUJ.	Luis Alonso							
VERIF.								
APROB.								
FABR.								
CALID.						MATERIAL:	Chapa de acero espesor 1,5mm	
							N.º DE DIBUJO	1
								A2
						PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1



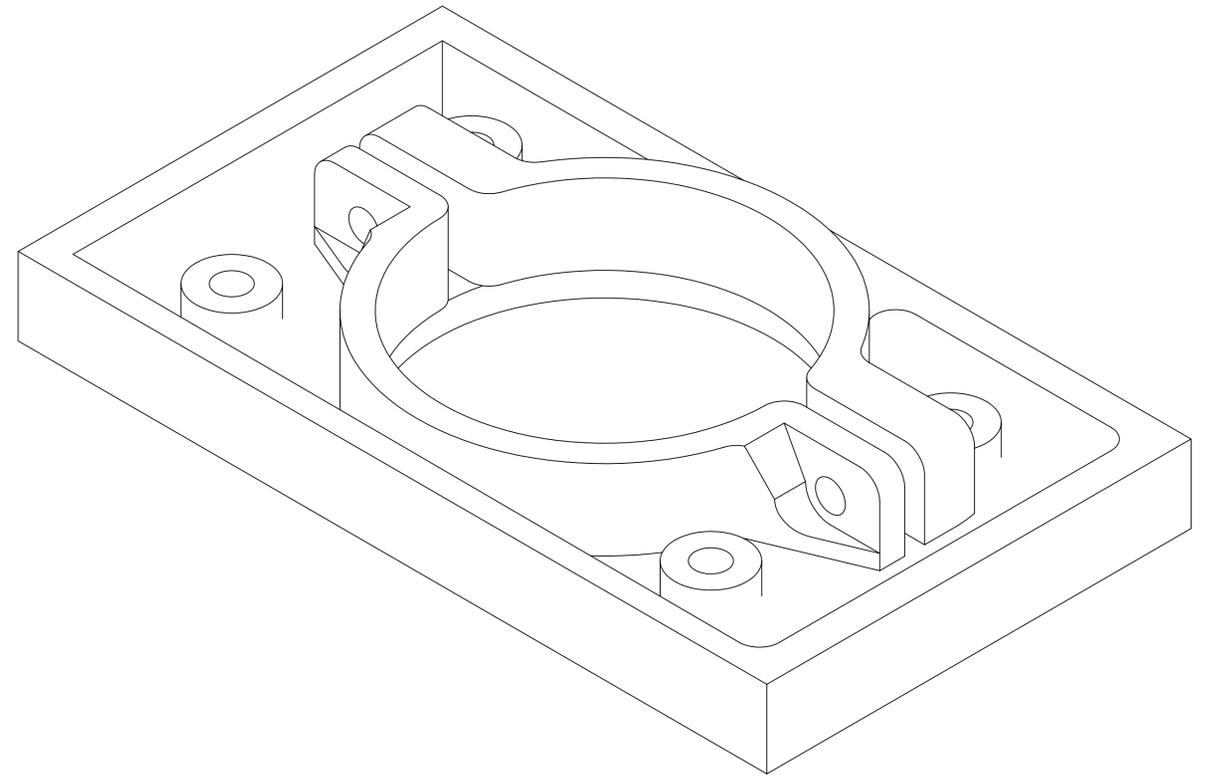
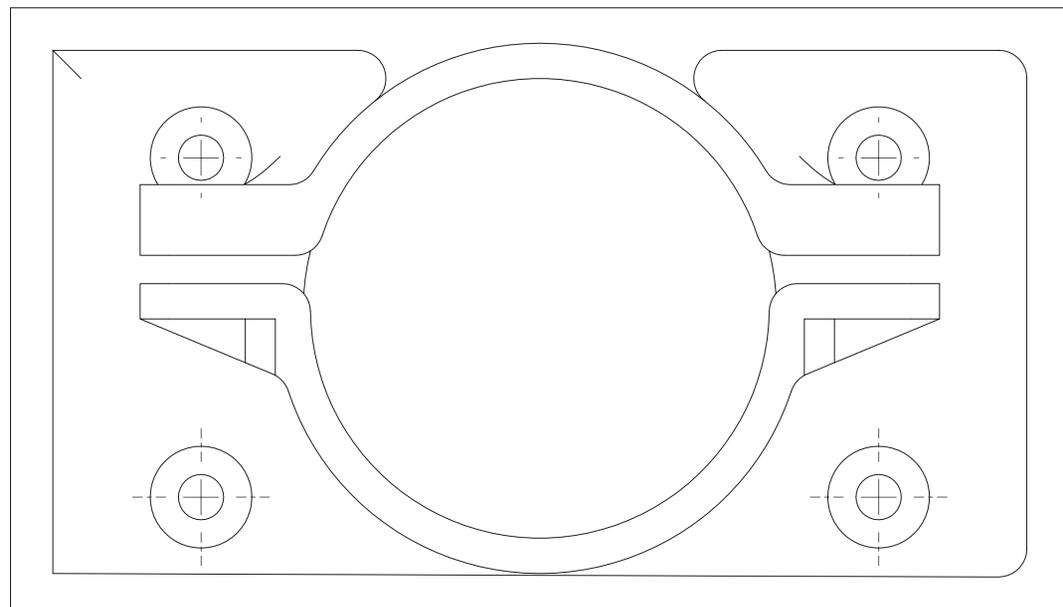
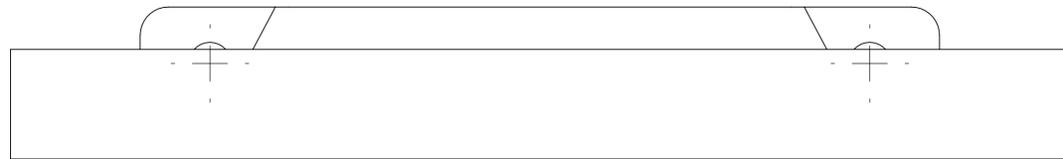
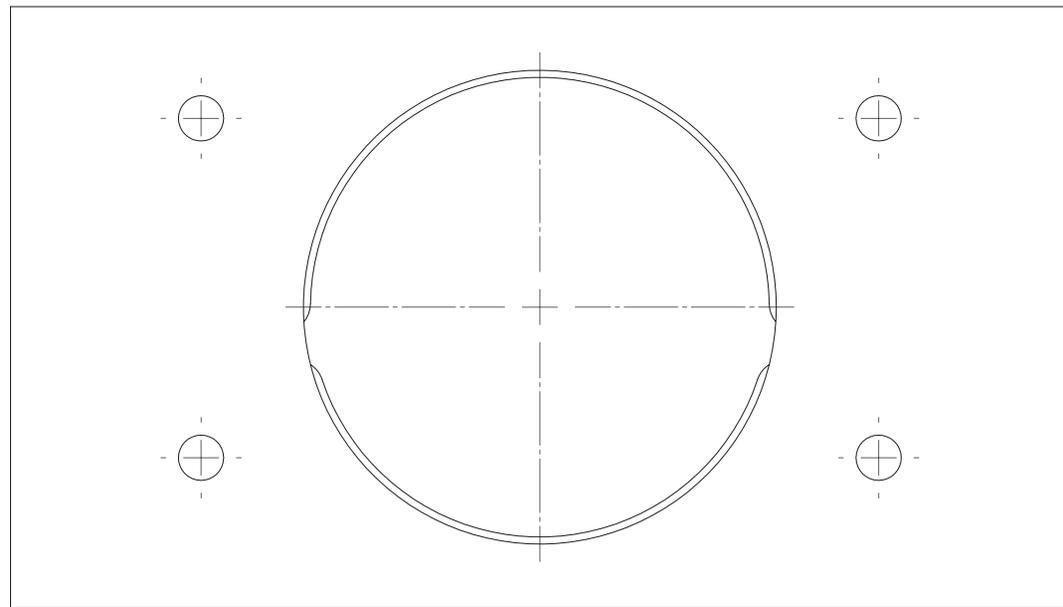
	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:
DIBUJ.	Luis Alonso				<h1>Refuerzo para soporte de bobinas</h1>
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.					
				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO
				Chapa de acero espesor 1,5mm	1
				PESO:	ESCALA:1:1
					HOJA 1 DE 1



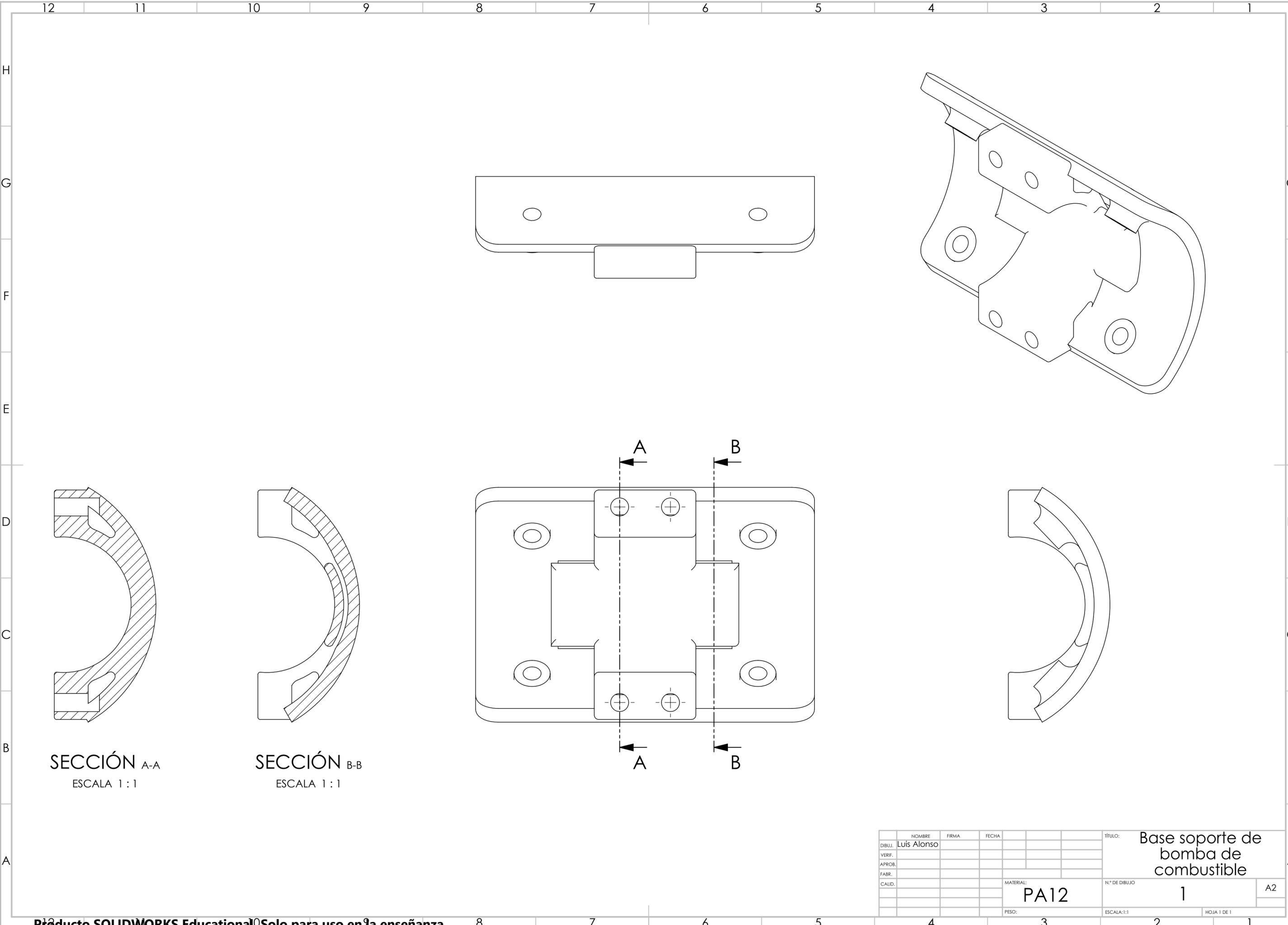
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO
DIBUJ.	Luis Alonso			Colector de admisión
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CAID.				
			MATERIAL: PA12	Nº DE DIBUJO 1
			PESO:	ESCALA:1:1
				HOJA 1 DE 2



NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO
DIBUJ. Luis Alonso			Colector de admisión
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			
MATERIAL: PA12	Nº DE DIBUJO: 1	ESCALA: 1:1	A1
PESO:			HOJA 2 DE 2



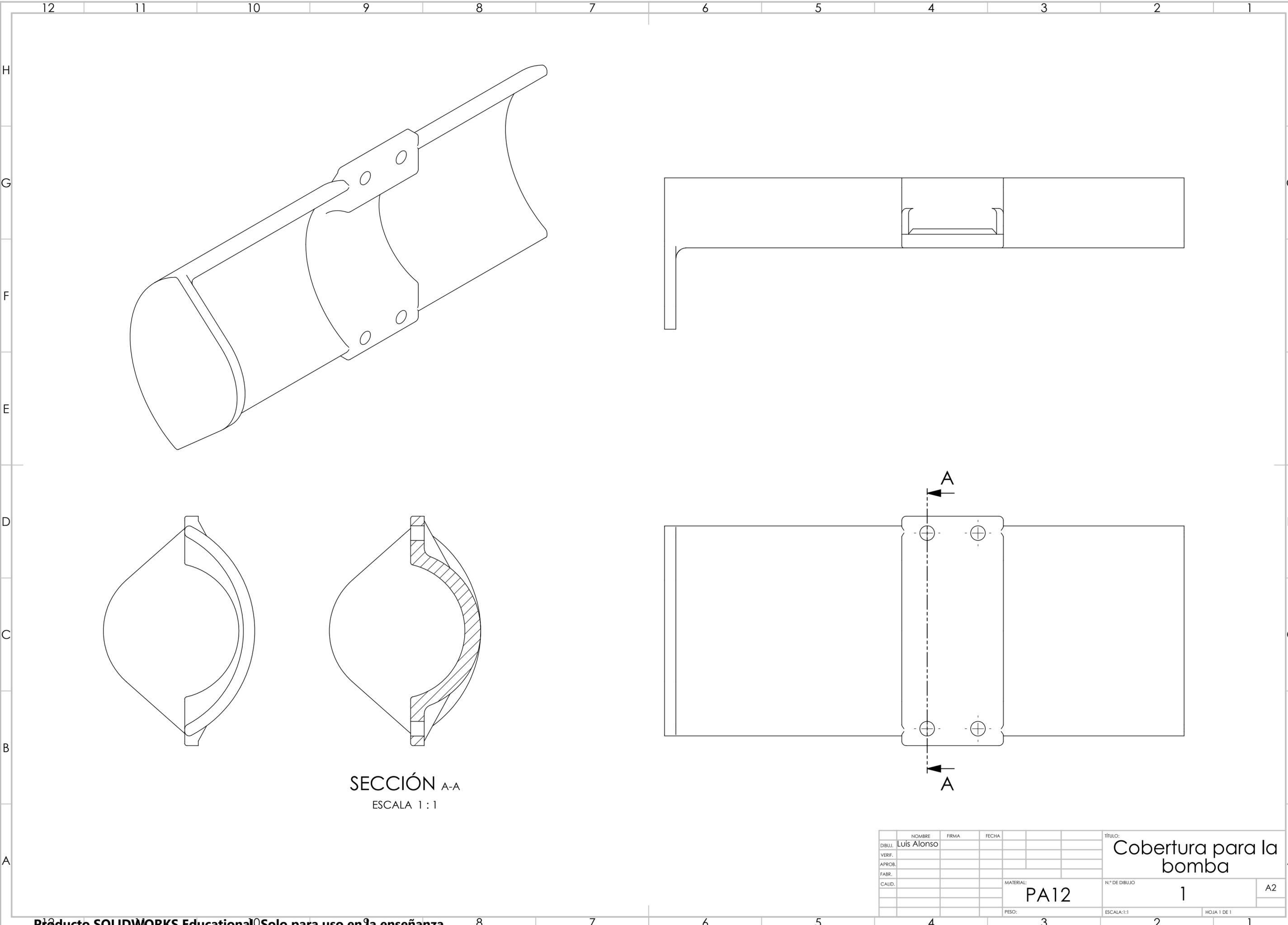
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:	
Luis Alonso								Adaptador mariposa- caja del filtro	
VERIF.								N° DE DIBUJO	
APROB.								1	
FABR.								A1	
CALID.								ESCALA: 2:1	
						MATERIAL:		HOJA 1 DE 1	
						PA12			
						PESO:			



SECCIÓN A-A
ESCALA 1:1

SECCIÓN B-B
ESCALA 1:1

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:	Base soporte de bomba de combustible	
DIBUJ.	Luis Alonso						
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.					MATERIAL:	PA12	N.º DE DIBUJO
							1
					PESO:		ESCALA:1:1
							HOJA 1 DE 1



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1

	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:	Cobertura para la bomba	
DIBUJ.	Luis Alonso						N.º DE DIBUJO	1
VERIF.								A2
APROB.								
FABR.						MATERIAL:	PA12	
CALID.								
						PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1