



Banco de pruebas para unidad de control electrónico motor serie 60.

Daniel Alejandro Herrera Martinez

Informe de Prácticas académicas para optar al título de Ingeniero Mecánico
otorgado por UdeA

Tutores

Víctor Hugo Cardona Sánchez, Técnico

Edison Fernando Castro, Ingeniero mecánico

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

Cita	(Herrera Martinez, 2022)
Referencia	Herrera Martinez D. (2022). <i>Banco de pruebas para unidad de control electrónico motor serie 60</i> . [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de documentación de Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Pedro León Simanca.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Lista de figuras	6
Lista de tablas.....	7
Resumen.....	8
Siglas, acrónimos y abreviaturas	9
Introducción	10
1. Planteamiento del problema.....	12
2. Justificación.....	12
3. Objetivos.....	13
3.1 Objetivo general.....	13
3.2 Objetivos específicos	13
4. Marco teórico	14
4.1 Nivel de refrigerante (CL).....	14
4.2 Sensor de referencia de temporización (TRS).....	15
4.3 Sensor de referencia síncrono (SRS)	15
4.4 Sensor de temperatura de aceite (OTS)	15
4.5 Temperatura de aire de entrada (ATS)	16
4.6 Temperatura de refrigerante (CTS)	16
4.7 Presión de combustible (FPS).....	16
4.8 Temperatura de combustible (FTS)	16
4.9 Presión del turbo (TBS)	17
4.10 Presión barométrica (BARO).....	17
4.11 Ignición	17

4.12	Switch de crucero.....	17
4.13	Interruptor Resumen/acelerador	18
4.14	Interruptor seteo desaceleración	18
4.15	Interruptor de freno de motor	18
4.16	Interruptor de embrague	18
4.17	Interruptor manual de ventilador.....	19
4.18	Sensor de acelerador (TPS).....	19
4.19	Interruptor de freno de servicio.....	19
4.20	Luz de chequeo de motor (Check Engine)	20
4.21	Luz de parada de motor (Stop Engine).....	20
4.22	Apagado de energía del vehículo.....	20
4.23	Control de ventilador	20
4.24	Freno de motor medio (EBM)	21
4.25	Freno de motor bajo (EBL)	21
4.26	Inyectores	21
4.27	Potenciómetro	22
4.28	Resistencia.....	22
4.29	Tarjeta de circuito (PCB)	22
4.30	Arduino	23
4.31	Led.....	23
5.	Metodología	24
6.	Resultados	28
	Código Arduino.	35
6.1	Impresión 3D.....	37

6.2 Diseño del adhesivo 40

7. Conclusiones..... 52

8. Recomendaciones..... 54

Referencias 55

Anexos..... 56

Lista de figuras

Figura 1: Diagrama de flujo de diagnóstico del ECM.....	25
Figura 2: Diseño de caja contenedora de circuitos del banco	29
Figura 3: Render frontal de caja contenedora del banco.	30
Figura 4: Render lateral de caja contenedora del banco	31
Figura 5: Conector diagnostico Deutsch 9 pines	32
Figura 6: Conector diagnostico Deutsch 9 pinout	33
Figura 7: Tapa del banco diagnóstico	33
Figura 8: Conector modulo.....	34
Figura 9: Render conectores modulo	34
Figura 10: Diseño propio tapa	40
Figura 11: Diseño propio frontal.....	41
Figura 12: Render como se vería la caja.....	42
Figura 13: Foto superior caja ensamblada.....	43
Figura 14: Foto frontal caja ensamblada	44
Figura 15: Foto conectores impresos	45
Figura 16: Foto jumper impresos	46
Figura 17: Foto terminales del conector	47
Figura 18: Foto conectores alimentación impresos.....	48
Figura 19: Foto conector voltaje impresos	49
Figura 20: Foto conector de diagnóstico	50
Figura 21: Diseño de los cables entre modulo y banco	51

Lista de tablas

Tabla 1: Propiedades de impresión.....	38
Tabla 2: Propiedades físicas y mecánicas de los materiales	39

Resumen

La empresa Diagnosticentro Diesel La montaña SAS Cuenta con 30 años de experiencia en el mercado colombiano, la empresa cuenta con varias subáreas, que se encargan de diferentes actividades, todas relacionadas con el área automotriz, esta práctica se realiza en el laboratorio de módulos electrónicos, buscando con este trabajo implementar un banco de diagnóstico que facilite el diagnóstico de los módulos de control del motor Serie 60 de la marca detroit, ya que anteriormente se tardaba demasiado para poder hacer un diagnóstico acertado de dicho módulo de control, y se busca optimizar y mejorar el proceso de la empresa.

Inicialmente se comenzó con la recolección de la información acerca de este motor, como son sus sensores, con cuantos actuadores cuenta, que cantidad de cilindros tiene entre otros aspectos técnicos de dicho motor.

Se analiza toda la información obtenida, y se inicia con un plan de desarrollo de cada módulo necesario para la creación del banco de diagnóstico.

Realizamos con éxito el banco funcional de diagnóstico para los ECM de los motores Serie 60, se logró la impresión de todas las piezas 3D.

Se logro lo deseado el código de Arduino que nos simulaba la velocidad del vehículo, funciona a la perfección, tenemos RPM variables, los inyectores activan y todos los sensores se pueden variar según su rango.

Siglas, acrónimos y abreviaturas

ECM: Unidad de control electrónico, controla los actuadores y sensores.

CKP: Sensor de posición de cigüeñal.

CPM: Sensor de posición de árbol de levas.

RPM: Revoluciones por minutos

OEM: Fabricante del equipo original

SETEO: Cosa lista o preparada para el funcionamiento.

OHM: Unidad de medida de resistencia

Vsen: Voltaje de sensores

Introducción

Diagnosticentro Diesel de la montaña SAS es una empresa fundada en octubre 01 del año 1989 cuando sus fundadores vieron la necesidad de crear un laboratorio de diagnóstico de vehículos de carga en esa época que fueran Diesel ya que veían un crecimiento en este sector y pocos lugares especializados en la inyección de motores Diesel, actualmente la empresa presta servicio a nivel nacional y es una empresa líder en el sector, trabajándole directamente a grandes empresas como son Navitrans, Ingevías, Ingetierras, Autolarte entre otras.

Si bien sabemos el parque automotriz presenta un gran consumo energético de lo producido por el país y sabemos que este no es un proceso eficiente, ya que presenta pérdidas cercanas al 82% (Botero, 2016) debido a lo ineficiente que es la mayoría de vehículos actuales en el país, además este sector es el que más produce CO₂ y muchos más contaminantes debido a su principal fuente de energía que son sus combustibles fósiles, en este caso ACPM y este se consume principalmente en transporte público y vehículos de carga, gracias al crecimiento que se viene dando en el sector automotriz, se puede ver un deterioro en la calidad del aire producto de las emisiones contaminantes de lo anterior mencionado.

El departamento de módulos electrónicos, es el encargado de diagnosticar y proveer el buen funcionamiento de los vehículos en todo el apartado electrónico que ingresan al taller, ya que todo vehículo moderno cuenta con sistemas electrónicos para el control de todos los sistemas del vehículo, esto se implementó con el fin de optimizar el funcionamiento de los motores de combustión interna y velar por gases contaminantes que estos pueden producir, aparte de eso también está pensado para aumentar la seguridad de los ocupantes de los vehículos y toda persona que se vea cercana

a un vehículo, por ende el departamento se dedica al correcto funcionamiento de todos los módulos de control presentes en un vehículo como también al correcto funcionamiento de todo lo relacionado con la electrónica automotriz como son sensores y actuadores.

El desarrollo de bancos de diagnóstico, es una herramienta necesaria en nuestra área, ya que muchas veces solo nos llega la unidad de control a nuestro laboratorio, y no contamos con el vehículo que es el mejor lugar para diagnosticar fallas en la unidad de control, así que nos vemos obligados a crear sistemas que nos permitan simular todo el vehículo para así poder garantizar el correcto funcionamiento del módulo de control y poder prestar un buen servicio a nuestros clientes y velar por el medio ambiente; cuando hablamos de módulos relacionados con el sistema de combustión interna, entre estos podemos encontrar ECM, SCR, Control de VGT, Control de EGR, Sistemas de DPF entre otros.

Durante el tiempo que llevo en la empresa se logró identificar que una de nuestras mayores limitantes era el tiempo que se puede invertir en el diagnóstico de las unidades de control, ya que se podían tomar días en solo diagnosticar la falla para poder empezar a corregirla, y como es bien sabido estos carros son de trabajo, y no se pueden dar el lujo de estar parados por varios días mientras solo se logra hacer un buen diagnóstico, luego de esto se procede con la reparación que puede tardar un tiempo más, así que debíamos buscar una solución, así que se realizó un estudio de las unidades de control que más ingresan y se escogió una en la cual no se tuviera aun un banco de diagnóstico, por eso se decidió escoger la ECM del motor serie 60. Ya que era uno de los que más tiempo tomaban de diagnóstico, este proyecto aparte de tener un alcance teórico logró crear un banco de diagnóstico y dejarlo instalado para los diagnósticos rápidos.

1. Planteamiento del problema

El problema principal que se presenta en la empresa es que al momento de recibir estos módulos de control de motor del Serie 60, se tarda muchísimo tiempo en lograr hacer un diagnóstico acertado, es decir para diagnosticar un ECM se podía tardar hasta 3 días, para poder empezar con su reparación, ya que este proceso es todo manual y se simulaba sensor por sensor lo cual consumía bastante tiempo.

2. Justificación

Se escogió este ECM, porque es uno de los más recurrentes en la empresa, y por ende uno de los que más tiempo nos conlleva para realizar un diagnóstico.

Así que con el fin de lograr una mejor atención al cliente y optimizar nuestros procesos internos, dar diagnósticos más acertados y reparaciones más prontas, se decidió por hacer este banco de diagnóstico, que a la empresa le sería de gran utilidad y optimizarían mucho tiempo en el laboratorio.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Implementar un banco de diagnóstico que permita realizar diagnósticos acertados y tener decisiones acertadas con respecto a el diagnóstico y reparación de los módulos de control de motor del Serie 60, con base en los resultados obtenidos por el banco.

3.2 Objetivos específicos

- Encontrar información que permita realizar la simulación de los diferentes tipos de sensores que cuenta el motor.
- Realizar un código en Arduino que nos genere la señal de sincronismo del motor, dándonos la salida de los sensores CKP y CMP, el cual se pueda variar para aumentar o disminuir RPM.
- Analizar las salidas de actuadores que tiene la unidad de control.
- Establecer las cargas que simularán los actuadores del motor.
- Diseñar en modelo CAD todo lo requerido para el montaje físico.
- Imprimir en 3D con PLA todos los diseños CAD necesarios para nuestro banco.
- Reducir el tiempo de diagnóstico de los ECM serie 60.

4. Marco teórico

La computadora de motor es conocida como ECU (Engine Control Unit) / PCM (Power Control Module) / ECM (Engine Control Module), es la encargada de controlar como bien dice su nombre el trabajo del motor.

Esto no lo hace por si sola ya que necesita de sensores y actuadores e inclusive se conecta con otros módulos como tableros, inmovilizadores, ABS, transmisiones entre los más destacables, que le ayudan a monitorear para poder controlar la inyección y reducir las emisiones, principalmente esa es la función de la computadora y el objetivo por el cual se ha ido perfeccionando año tras año. (AUTOMOTRIZ, 2020)

A continuación, describiré todos los sensores y actuadores que están involucrados en el funcionamiento de la ECM serie 60.

Comenzaremos con las señales entrantes, en este caso son todos los sensores e interruptores del vehículo.

4.1 Nivel de refrigerante (CL)

Este sensor se encarga específicamente de leer constantemente como está el nivel del refrigerante, ya que este es muy importante para el vehículo, pues se encarga de mantener su temperatura de funcionamiento estable, esto con la ayuda de la bomba de agua, radiador y su ventilador. (SAMUEL, 2019)

4.2 Sensor de referencia de temporización (TRS)

Sensor de posición que mide las revoluciones del cigüeñal para monitorear la sincronización del motor y así determinar cuándo operan los solenoides del inyector, es un componente electrónico que está montado al lado izquierdo de la caja de cambios cerca del cigüeñal, este envía una señal que es generada por el sensor al tomar una rueda fónica espaciada uniformemente y generar la señal que es recibida por la ECM para así determinar los tiempos de operación de las bobinas de los inyectores y saber la velocidad del motor. (SAMUEL, 2019)

4.3 Sensor de referencia síncrono (SRS)

Este sensor es un componente electrónico que se monta en la parte trasera de la caja de engranajes, el SRS envía una señal a la ECM. Esta señal es generada por un pasador metálico en la parte trasera de la rueda fónica. El pasador pasa por el SRS cuando el pistón número uno alcanza el punto muerto superior, esta señal es usada por la ECM para determinar el orden de encendido del motor. (SAMUEL, 2019)

4.4 Sensor de temperatura de aceite (OTS)

Está instalado en la galería de aceite del motor, el OTS envía una señal eléctrica al ECM indicando la temperatura del aceite del motor, esta es procesada por la ECM para mejorar el arranque en climas fríos y tener calentamientos más rápidos, además también se usa para proteger el motor en caso de que este supere durante 2 segundos o más las especificaciones del motor, iniciara la función de parada de motor o advertencia. (SAMUEL, 2019)

4.5 Temperatura de aire de entrada (ATS)

El motor cuenta con un sensor montado en la parte inferior del múltiple de admisión conocido como ATS, Este envía una señal eléctrica al ECM que indica la temperatura del aire que ingresa al motor, Esta información la usa para ajustar la proporción de aire combustible y en algunas ocasiones controlar el ventilador, aparte de esto proporciona la información necesaria para variar la velocidad de ralentí en caliente y el tiempo de inyección, lo que nos da como resultado mejores arranques en frío y menos humo blanco. (SAMUEL, 2019)

4.6 Temperatura de refrigerante (CTS)

EL CTS envía una señal eléctrica a la ECM que indica la temperatura del motor, esta información la usa para proteger el motor en caso de que esta supere los límites establecidos, activa la protección del motor. (SAMUEL, 2019)

4.7 Presión de combustible (FPS)

Es una señal eléctrica al ECM que le está diciendo constantemente cual es la presión de combustible del motor a cualquier velocidad. (SAMUEL, 2019)

4.8 Temperatura de combustible (FTS)

El sensor envía una señal eléctrica al ECM indicando la temperatura del combustible a la entrada del motor, para así poder calcular el consumo de combustible. (SAMUEL, 2019)

4.9 Presión del turbo (TBS)

Este va montado en el colector de admisión, este envía una señal eléctrica al ECM que se usa para calcular la cantidad de aire que ingresa al motor, así el suministro de combustible es regulado por la información recibida por el TBS para controlar humo. (SAMUEL, 2019)

4.10 Presión barométrica (BARO)

El sensor BARO envía una señal al ECM que indica la presión barométrica, este utiliza estos datos para controlar el suministro de combustible al motor. (SAMUEL, 2019)

4.11 Ignición

Proporciona la potencia de 12 V al ECM para indicarle que es próximo a encenderse y empezar a recibir y enviar señales de sus sensores actuadores e interruptores, activa la comunicación para poder escanearse y diagnosticar. (SAMUEL, 2019)

4.12 Switch de crucero

Este interruptor se encarga de cambiar el estado de crucero habilitado y apagado en la ECM, se usa para mantener el motor a RPM estables. (SAMUEL, 2019)

4.13 Interruptor Resumen/acelerador

Este se encarga de una vez activado el interruptor de crucero, acelerar el motor, o en caso de que este se haya seteado antes, lo vuelve a poner en la velocidad anteriormente guardada. (SAMUEL, 2019)

4.14 Interruptor seteo desaceleración

Este interruptor se encarga de una vez activado la velocidad crucero, de mantener a las revoluciones a las que va el motor y una vez establecido a que velocidad va, si lo presionas disminuye las RPM. (SAMUEL, 2019)

4.15 Interruptor de freno de motor

De este tipo de interruptores hay 2 uno que controla el freno bajo y el otro el alto, es decir el motor cuenta con 2 frenos diferentes, así que cuando presionas el bajo, activa solo el freno en una culata y si se presiona el alto, activa en ambas el freno, esto con el fin de que el operador decida cuan fuerte necesita el freno de motor. (SAMUEL, 2019)

4.16 Interruptor de embrague

Este se encarga de indicarle a la ECM cuando el embrague esta liberado u oprimido, esto con el fin de saber en qué momento puede tener activa la velocidad crucero y los frenos de motor, ya que si el embrague esta oprimido, desactiva los frenos de motor y la velocidad crucero, una vez se libere vuelven a estar disponibles. (SAMUEL, 2019)

4.17 Interruptor manual de ventilador

En algunos ECM de motores serie 60 viene incluido este interruptor, esto con el fin de tener un control manual del ventilador del vehículo, ya que este por lo general se controla automáticamente dependiendo de la temperatura del motor, esto no todos los vehículos lo tienen y es decisión del OEM ponerlo o no. (SAMUEL, 2019)

4.18 Sensor de acelerador (TPS)

La función principal de este sensor es indicar el porcentaje de acelerador al ECM, esto mediante una señal electrónica, la cual le indica al ECM en qué momento inyectar más o menos combustible, también utiliza este valor, para saber en qué momentos activa los frenos de motor en caso de que estén activados, ya que el acelerador debe estar suelto para que estos se activen, de igual manera pasa con la velocidad crucero. (SAMUEL, 2019)

4.19 Interruptor de freno de servicio

Este se encarga de decirle a la ECM cuando se presiona el pedal de freno, esto con el fin de que ella sepa si debe desactivar la velocidad crucero. (SAMUEL, 2019)

Ahora vamos a mencionar lo que son las salidas de la ECM entre las cuales están actuadores e indicadores.

4.20 Luz de chequeo de motor (Check Engine)

Este led indicador de una falla en el motor, y se usa para indicar al operador que hay un código activo almacenado en la ECM, para indicarle que se acerque al taller a verificar el estado del vehículo. (SAMUEL, 2019)

4.21 Luz de parada de motor (Stop Engine)

Led indicador que le advierte al operario de que algo grave sucede en el motor, es de color rojo y se ilumina en el tablero, esto querrá decir que ocurrió una falla mayor y se requiere atención inmediata del motor, lo recomendable es que se apague el motor al ver esta luz. (SAMUEL, 2019)

4.22 Apagado de energía del vehículo

Este se activa con el apagado automático o de ralentí, también se ve activado cuando hay una protección de motor, o sea un código grave o bombillo rojo Stop Engine, esta salida controla un relé de apagado de energía del vehículo, esto con el fin de dejar sin suministro de corriente al motor y este se apague. (SAMUEL, 2019)

4.23 Control de ventilador

El ventilador está controlado por diferentes condiciones, y este se activará cuando una de estas se cumpla, en muchas ocasiones estos parámetros se programan desde la ECM, entre ellos está la temperatura de activación automática, y la temperatura en que este se apaga, también es controlado por los frenos de motor, si este está programado así, o si el vehículo cuenta con interruptor manual del ventilador, también se activará. (SAMUEL, 2019)

4.24 Freno de motor medio (EBM)

Los solenoides de freno son pequeños estos van integradas en la culata, cuando se activa el freno de motor, los solenoides de freno se someten a presión, lo que genera que se abran las válvulas, estos son controlados por presión de aceite de motor, el vehículo cuenta con 2 culatas, así que tiene control por separado de cada freno de motor, en este caso este controla un lado de la culata. (SAMUEL, 2019)

4.25 Freno de motor bajo (EBL)

Este al igual que el anterior, controla la otra culata y se cuenta con 2 para tener 2 niveles de freno de motor, en los cuales se puede tener o 1 culata activa o ambas, dependiendo del requerimiento del operario. (SAMUEL, 2019)

4.26 Inyectores

Los inyectores, tienen la función de inyectar el combustible a alta presión en los cilindros, la ECM establece los tiempos de inyección, el periodo y las variantes de inyección, el módulo de control activa la bobina del solenoide del inyector. (SAMUEL, 2019)

Aparte de lo anterior mencionado, que es todo lo relacionado con la ECM, es importante explicar todo lo que se tiene que utilizar para poder realizar este proyecto.

4.27 Potenciómetro

Este es una resistencia variable mecánica, se comporta como un divisor de tensión, se utiliza para simular la resistencia de los sensores que tiene el vehículo, y así enviar el valor que deseamos para hacer las pruebas. (Mecafenix, INGENIERÍA MECAFENIX, 2017)

4.28 Resistencia

Una resistencia es un elemento pasivo de un circuito eléctrico, su función principal es la restricción del paso de la corriente, limitándola o regulándola, estas se clasifican según el código de colores, en nuestra aplicación serán usadas, para limitar el paso de corriente, y que la ECM no se diagnostique como fallo, ya que el potenciómetro varia de 0 ohm a 5000 ohm, y si la resistencia es 0 el módulo tomara el circuito en falla y dirá que el sensor está abierto, así que las pondremos, en serie con el potenciómetro, para que este valor nunca este en 0 ohm y el ECM no se diagnostique fuera de rango y nos encienda la luz de chequeo de motor, por un sensor fuera de rango. (Mecafenix, INGENIERÍA MECAFENIX, 2020)

4.29 Tarjeta de circuito (PCB)

Una PCB es un circuito impreso, que cuenta con un alma de cobre y tiene terminales, para fácil montaje de los componentes eléctricos o electrónicos. Acá se usarán para crear las placas donde están montados los bancos de potenciómetros, con su circuito soldado, para la simulación de sensores, también estará una en la cual ira el Arduino.

4.30 *Arduino*

Es una plataforma electrónica con código abierto, esta permite crear diferentes tipos de microordenadores con funciones específicas, en esta ocasión se usará para crear las señales de correlación de posición del motor, para que la ECM crea que el motor este encendido y empiece a inyectar. (Arduino, 2020)

4.31 *Led*

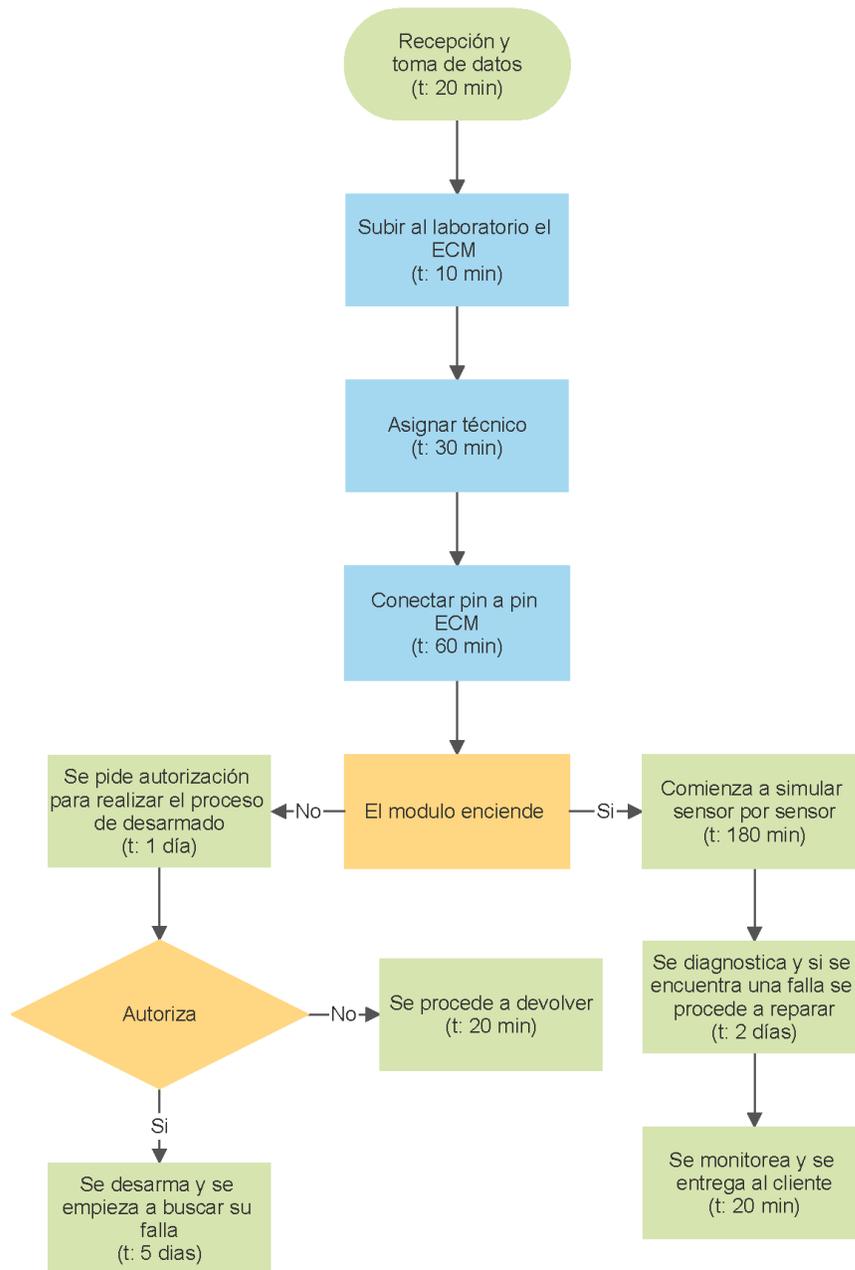
Este es un diodo emisor de luz, que se usarán para indicar que los actuadores y la luz de chequeo de motor y de paro de motor, estén funcionando. Esto con el fin de hacer un diagnóstico rápido de todas las salidas del ECM.

5. Metodología

La metodología seguida en el proyecto realizado en Diagnosticentro Diesel la montaña se realizó de acuerdo con los siguientes ítems. Para el caso se utilizará una metodología mixta.

5.1 Se definió el tiempo que se tardaba en diagnosticar un módulo serie 60 desde que ingresaba al taller, y se iba, la cual empezaba por la recepción, donde se recibe el ECM, y se le abre una orden de trabajo, en la cual se le asigna un número y se especifica el por qué se trajo. Una vez hecho esto, lo enviaban al laboratorio de nosotros, donde se le asignaba a un técnico, el cual tenía que comenzar a indagar cual era la falla, esto conllevaba mucho tiempo, ya que le tocaba ir conectando pin a pin al ECM, esto para alimentar el módulo y escanearlo como primer procedimiento, ya que siempre que ingresa un módulo se debe garantizar que este al menos encienda y no esté en corto. Una vez el técnico realizaba esto procedía a simular cada sensor y cada salida del módulo, lo cual conllevaba mucho tiempo y no era óptimo.

Figura 1: Diagrama de flujo de diagnóstico del ECM



Nota. Fuente: Propio

5.2 Se realizó una investigación con ayuda del asesor externo, con el fin de recaudar toda la información relacionada con el motor de serie 60, esto

con el fin de tener todos los diagramas de conexión, del ECM, este proceso conllevó aproximadamente 1 mes.

5.3 Lo primero con lo que decidí comenzar fue con el diseño CAD de la caja que contendría todos los circuitos, ya que este proceso es demorado, y mucho más su impresión, lo primero que debía tener en cuenta son las dimensiones que la impresora 3D puede imprimir, así que teniendo en cuenta esto, se comienza el desarrollo del modelo CAD. Este tomó aproximadamente 3 meses, ya que se debían ir desarrollando otros componentes mientras se diseñaba para que todo quedara dentro.

5.4 Mientras iba desarrollando el CAD, me di cuenta de que necesitaba las medidas de las PCB que iban a quedar en el interior, para poder diseñar los soportes de estas, además el tamaño y la separación de los agujeros de los potenciómetros, por ende, empecé con el desarrollo de las PCB, para esto toco ver que cantidad de componentes de cada uno se necesitaban para ir a comprarlos, aunque ya la mayoría de las cosas las teníamos en el laboratorio, algunas de estas toco comprarlas, en este transcurso, se diseñaron 2 PCB de sensores, 1 PCB para montar el Arduino que nos ayudaría a simular las señales de posición del motor, 2 PCB de leds indicadores de actuadores y luces de motor, 1 PCB con 2 relés que simularían 2 cargas de 2 actuadores, y por último 1 PCB donde irían bornes para los interruptores, Este proceso de montaje de todas las PCB tomo aproximadamente 1 mes de trabajo, en el cual se iba trabajando simultáneamente con el diseño CAD.

5.5 Se programó un algoritmo en Arduino, que nos daba la señal de salida de los sensores de posición, esto con el fin de poder simularle RPM al ECM, para esto lo primero que hicimos fue con ayuda de un osciloscopio sacar

la señal de un vehículo con motor serie 60 aprovechando que llegó uno al taller, para esto se necesita un osciloscopio de mínimo 2 canales, porque se deben sacar las señales en una misma gráfica para así poder tener el tiempo de sincronización, una vez tenía la señal guardada, se procedió a programar en Arduino, el código será presentado en el apartado de resultados.

5.6 Se desarrolló las pchas que conectarían en la ECM, ya que no contábamos con las originales, así que se cogió un módulo de los tantos que tenemos en el taller, y se comenzó con el desarrollo CAD de las 5 pchas necesarias para el ECM, ya que cuenta con 1 de alimentación, en esta llega solo 12V y una tierra, 2 pchas de inyectores, las cuales eran diferentes cada una, 1 pacha de sensores y una pacha de actuadores, a medida que se iba desarrollando cada una se ponía a imprimir en 3D.

5.7 Se imprimió nuestro banco en 3d, este proceso llevó aproximadamente 30 horas, ya que utilizaba casi todos los límites de la impresora, se realizó con PLA, ya que era el más accesible y con unas propiedades indicadas para ser resistente a lo que iba estar sometido.

5.8 Se realiza todo el cableado interno para las conexiones que estaban adentro, estas incluían las conexiones entre las PCB y los conectores DB25 hembras.

5.9 Se crean 2 cables que nos darían la conexión entre el Banco de diagnóstico y el ECM, estos 2 arneses, tendría uno 3 conectores, los cuales sería 1 de sensores y 2 de inyectores, y el otro arnés contaría con 1 conector de actuadores y el conector de alimentación.

6. Resultados

El diseño de la caja, fue la base para hacer los demás ítems necesarios, por eso el diseño del CAD fue la primera parte que realicé, la idea era hacer una caja la cual contuviera adentro todos los cables y circuitos necesarios para la simulación del motor, la idea mía consistía en una caja, con el ancho y largo máximos aceptados por la impresora, esto con el fin de optimizar el espacio lo mejor posible, así que la base de la caja cuenta con unas dimensiones de 190 mm de ancho y 220 mm de largo, para la altura si teníamos un margen más alto, ya que la impresora es capaz de imprimir 210 mm de altura y no necesitábamos tanta altura.

El diseño de la caja debía contar con los soportes de las placas de circuitos internos, en total se necesitaban 7 soportes de PCB, 2 soportes de solenoides de freno de motor, un agujero para el puerto de diagnóstico, y 2 agujeros para poner los conectores DB25, los cuales están para separar los cables exteriores, de los interiores, aparte de lo anterior, la caja debe contar con los agujeros de los potenciómetros, de los 2 medidores de voltaje y del monitor de voltaje y amperios principal del banco, aparte debía tener soportes con agujeros para fijar la tapa con tornillos, a continuación, se pondrán unos renders de cómo se diseñó la caja.

Figura 2: Diseño de caja contenedora de circuitos del banco



Nota. Fuente: Propio

En el gráfico anterior se observa al lado derecho 2 soportes cilíndricos, los cuales contendrán los solenoides del freno de motor, en el medio, se ven 2 soportes para 2 PCB, los cuales cuentan con esta forma, ya que por la parte de abajo pasarán los cables, y arriba donde se ven las guías, entran las PCB, en las cuales irán en la parte del centro izquierda una PCB con 6 leds, los cuales indicarán el encendido de los inyectores, y al lado derecho una PCB con borneras, donde llegarán todos los switch necesarios del banco, y al lado izquierdo se alcanza a observar otros 2 soportes en los cuales van 2 PCB, en la parte izquierda más cercana a la pared de atrás irá una PCB con un total de 6 leds, que indicarán la activación de los frenos de motor, Check engine, Stop engine, un led que muestre si hay comunicación y otro led indicador de las RPM. El soporte que está al lado del anterior será para una PCB que contendrá 3 leds, los cuales serán de activación del fan, activación de Vehicle power down, y por último el indicador de ignición o Key switch.

En la parte frontal podemos notar 2 agujeros rectangulares, los cuales contendrán los medidores de voltaje de cada banco de sensores, esto con el fin de hacer un fácil diagnóstico de los 2 Vsen del módulo, y en agujero central rectangular más grande será para un monitor, que nos indicará el voltaje y el

consumo de corriente de nuestro banco, este es muy importante porque nos ayuda a ver si el módulo tiene algún corto, o si por lo menos consume corriente.

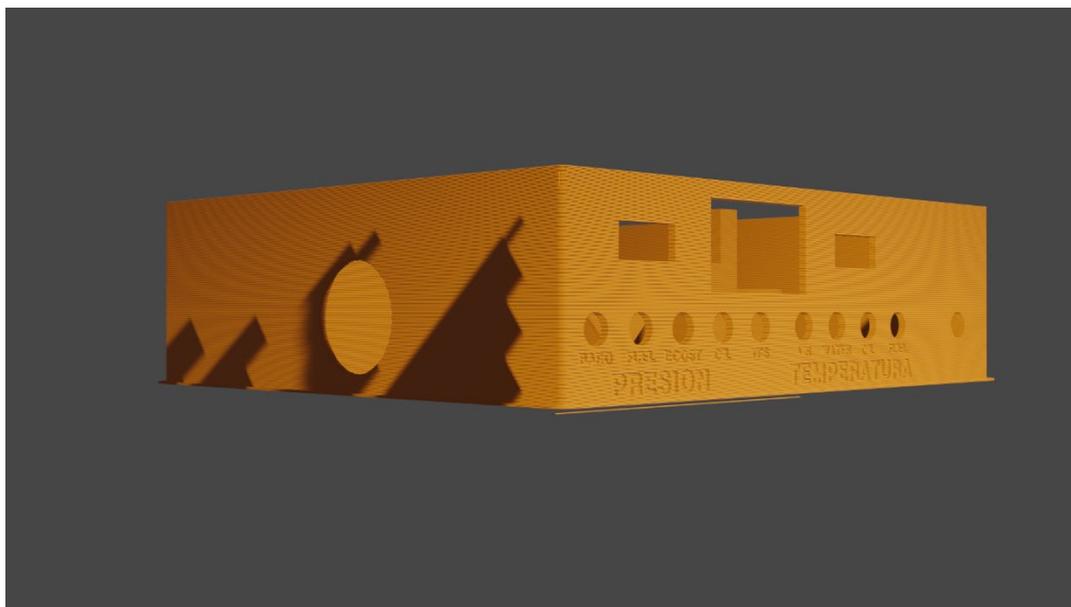
Figura 3: Render frontal de caja contenedora del banco.



Nota. Fuente: Propio

Como observamos en la gráfica anterior, se pueden observar unos agujeros en la parte de abajo, estos son donde saldrá el potenciómetro que nos permitirá variar el voltaje de cada sensor, aparte de esto se pueden observar unas letras, las cuales usaré para guiarme en el proceso de ensamble, ya que como se observa en la parte izquierda estarán todos los potenciómetros de presión, en el medio el TPS (acelerador) y al lado derecho todos los sensores de temperatura, en la parte derecha tenemos un agujero sin marca, ahí va la PCB en la cual estará el Arduino con el código de posición de sincronismo, y ahí saldrá el potenciómetro, que nos permite variar la velocidad del motor, es decir aumentar las RPM, es importante decir que al frente se pondrá un adhesivo impreso con un diseño más amigable que más adelante será presentado.

Figura 4: Render lateral de caja contenedora del banco



Nota. Fuente: Propio

Observamos en el lateral izquierdo un agujero, este es uno de los más importantes, ya que ahí se pondrá el puerto de diagnóstico, y ahí se conecta la interfaz de diagnóstico, la cual nos permite ver los códigos de falla, valores reales en tiempo real de los sensores, y hacer pruebas de activación y más, esto se hace desde el portátil con el programa de diagnóstico original diagnostic link.

Figura 5: Conector diagnostico Deutsch 9 pines



Nota. Fuente: Propio

El diseño del conector de diagnóstico, fue de gran ayuda, ya que con la ayuda de uno original, tome las medidas y realice el modelo CAD, esto con el fin de poder imprimir más a futuro, ya que es uno de los conectores que más se usan en el laboratorio, y no contábamos con ellos, los conectores de diagnóstico, tienen un pinado general, es decir es algo estándar y cuenta con varios protocolos de comunicación, en este caso este módulo, se comunica por protocolo J1708, así que solo utiliza 4 pines de los 9 los cuales son 12V, masa y los 2 de J1708.

En el siguiente gráfico se observará el pinout de este conector, y se observarán cuáles son los 4 pines que usaremos en este caso, hay que aclarar que el vehículo original trae en conector de diagnóstico de 6 pines, pero por facilidad, se diseñó el de 9, ya que cuenta con más protocolos de comunicación y es el más usado en el laboratorio y nos ahorra tiempo de cambio de accesorio de la interfaz de comunicación.

Figura 6: Conector diagnostico Deutsch 9 pinout

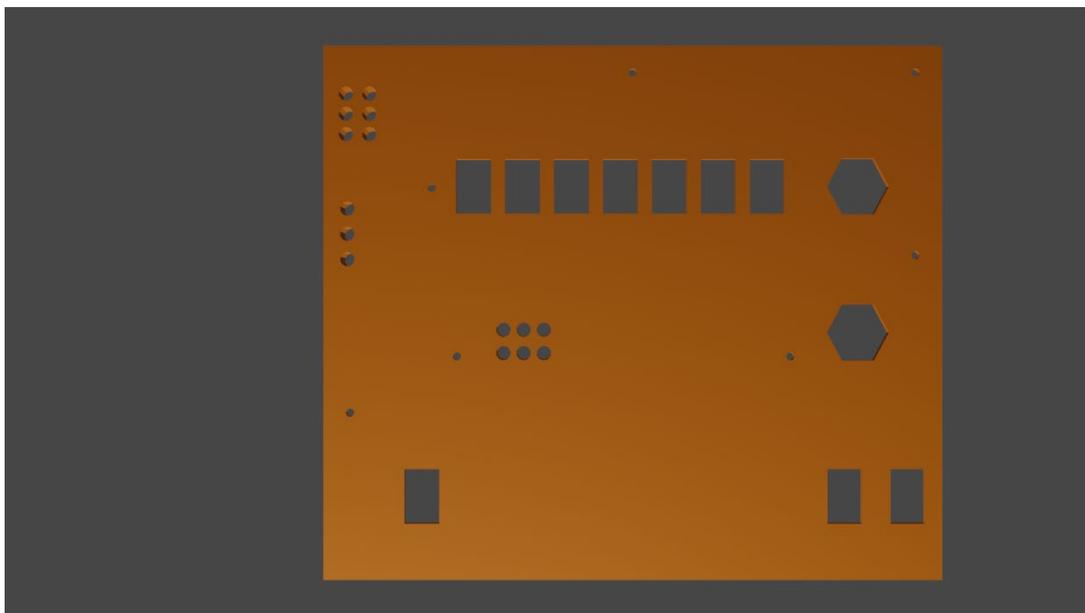


PIN	Descripción
A	Tierra
B	12 Voltios
C	CAN H/J1939
D	CAN L/J1939
E	CAN SHIELD
F	J1708 HI
G	J1708 LOW
H	OEM
J	K-LINE

Nota. Fuente: Propio

Por último, se diseñó la tapa de la caja, para esto era bastante importante dejar los agujeros de los switches, y de los leds, aparte de eso estos de los leds, deben de contar con un tubo que guie la luz arriba, y tener los agujeros donde entrarán los tornillos que unen la tapa con la caja, este diseño es más sencillo, aunque debe tener las medidas perfectas para que los leds encajen perfecto en la PCB.

Figura 7: Tapa del banco diagnóstico



Nota. Fuente: Propio

En este caso fue bastante importante saber en qué parte contábamos con espacio para poner los interruptores, ya que tocaba tener en cuenta que partes en la caja nos quedaba el suficiente espacio para cablear los switches, además de esto fue importante dejar los espacios donde se vería la parte superior del solenoide del freno, esto es importante que se vea, ya que ahí se observa cuando éste se activa o se desactiva, ya que en ocasiones el led se enciende, pero la corriente no es la suficiente para activar el solenoide, así que era importante que se viera la parte superior del mismo, aparte de eso nos ayudaría a fijarlos, para evitar que se muevan.

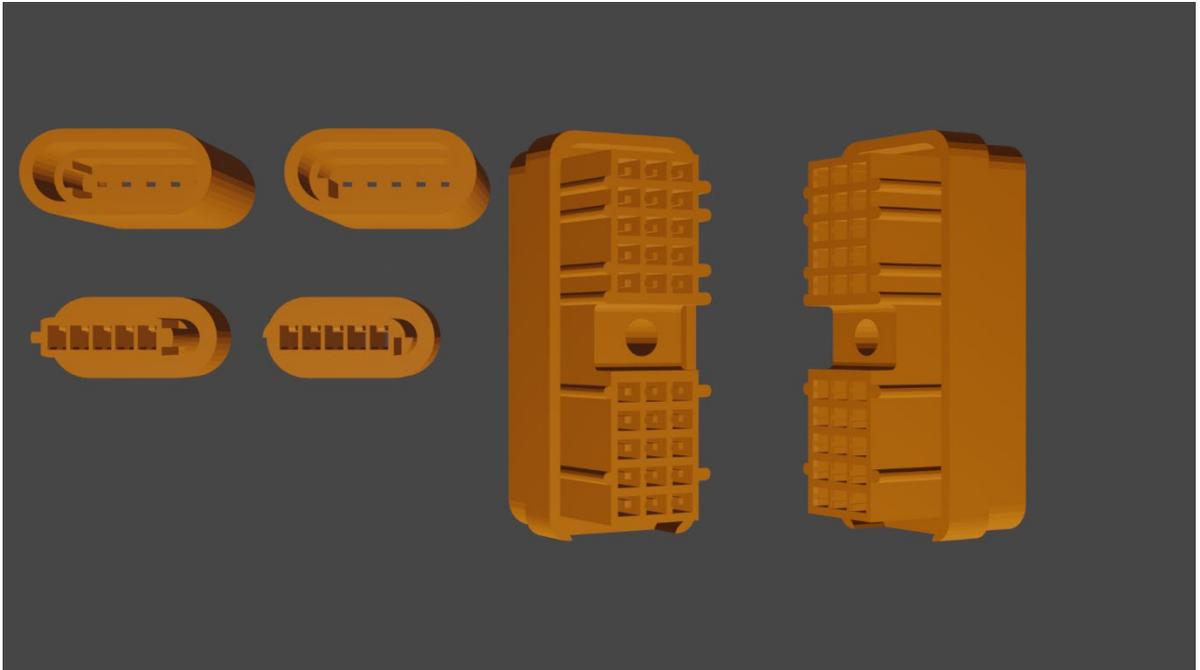
Figura 8: Conector módulo



Nota. Fuente: Propio

Algo importante fue el diseño de los conectores del módulo, ya que contábamos con unos originales, pero la idea es dejar estos por si en algún momento toca venderlos a un vehículo que nos llegué, entonces basándome en los originales, saqué las medidas y se diseñaron los conectores que nos eran necesarios, entre ellos estaban 2 de inyectores, 1 de alimentación, y 2 de sensores actuadores y comunicación.

Figura 9: Render conectores modulo



Nota. Fuente: Propio

Código Arduino.

Como se ha mencionado, una de las cosas más importantes para poder tener el banco del módulo, es poder simular las señales de sincronización del motor, para esto se cuenta con un Arduino 1 en el cual programamos un microcontrolador Atmel ATMEGA328-PU, el cual cuenta con el siguiente algoritmo.

```
int map1,map2,val;
int bits=1023;
float del1;
float del2;
float del3;
int analogin=A1;
int CMP = 8;
int CKP = 7; //6
void setup() {
  Serial.begin(115200);
```

```

pinMode(CMP, OUTPUT);
pinMode(CKP, OUTPUT);
pinMode(analogin, INPUT);
}
void loop() {
  readan(1200,200,1858,590);
  digitalWrite(CMP, HIGH);counttooth(71);
  synchronize();
}

int readan (int map11, int map12, int map21, int map22)
{
  val=analogRead(analogin);
  map1=map(val,0,bits,map11,map12); //2100,200
  map2=map(val,0,bits,map21,map22); //3000,590
}

int synchronize ()
{
  digitalWrite(CKP, HIGH);
  delayMicroseconds(map1);    //1000
  digitalWrite(CKP, LOW);
  digitalWrite(CMP, LOW);
  delayMicroseconds(map2);
  digitalWrite(CKP, HIGH);
}

int counttooth (int t)
{
  for(int i=0;i<t;i++)
  {
    digitalWrite(CKP, HIGH);
    delayMicroseconds(map1);

```

```
digitalWrite(CKP, LOW);  
delayMicroseconds(map2);  
}  
}
```

En el algoritmo pasado, podemos ver que tenemos 2 salidas y una entrada, esta última se utiliza para variar la frecuencia de ambas salidas, es decir al variar la frecuencia, se varían las RPM del motor, ya que la señal siempre es la misma, con la misma sincronización, este código se encarga de contar 71 picos de la señal CKP así nombrada, para sacar una señal del CMP, que indica el punto muerto superior.

6.1 Impresión 3D

Ahora vamos a adjuntar una de las cosas más importantes que son los códigos G utilizados para imprimir todos los diseños, en mi caso se usó una impresora de la marca Prusa, con un material PLA color naranjado, se decidió usar este material, porque es el indicado y tenía las propiedades indicadas para nuestro banco, ya que no es muy flexible, y da acabados muy buenos, resistente y de fácil manejo a la hora de imprimir.

Fue importante comparar las propiedades de los 2 materiales con los que contaba para la impresión, pues en mi caso se tenía PLA y PETG, así que se analizaron tanto las propiedades de impresión, como las físicas y mecánicas.

Tabla 1: Propiedades de impresión

Propiedades de impresión		
Cualidad	PLA	PETG
Facilidad de impresión	Muy alta	Alta
Temperatura de extrusión (°C)	200-240	225-245
Temperatura de cama caliente (°C)	0-40	60-90
Potencia del ventilador	100%	100%
Olor al imprimir	Nada	Muy poco
Adhesión entre capas	Media	Alta

Fuente: (equipo de Abax, n.d.)

Lo importante es analizar los factores importantes para nuestra aplicación, lo primero que miramos es que el PLA es mucho más sencilla de imprimir que el PETG, y este factor para mi es muy importante, ya que, al ser impresiones de tantísimo tiempo, era importante evitar cualquier factor de error, pues la impresora iba a quedar encendida en las noches sin supervisión, así que por este factor escogí el PLA.

La temperatura de impresión es otro factor decisivo para la elección, pues entre más alta sea esta, más difícil será imprimir el material, esto conlleva varios factores a analizar que eran más consumo de energía, y manipulación de manera más insegura, por ende, en este caso el PLA era la elección indicada, ya que se presentaba como el más seguro para dejar sin supervisión.

Y por último y no menos importante es el tema de los soportes, ya que el PETG al tener una adhesión más alta entre las capas, afectaría significativamente los soportes, ya que serían mucho más difíciles de separar que con el PLA, y lo mejor era usar PLA para la impresión de las piezas que necesitaban soporte.

Tabla 2: Propiedades físicas y mecánicas de los materiales

Propiedades físicas y mecánicas		
Cualidad	PLA	PETG
Densidad (g/cm ³)	1,24	1,27
Resistencia a tracción (MPa)	Alta: 3309	Media-Baja: 50
Resistencia a flexión (kg/cm ²)	Muy alta: 485	Media: 700
Resistencia al impacto (KJ/m ²)	Muy baja: 20	Media: 105
Temperatura de deformación (°C)	Baja: 55	Alta: 85
Resistencia UVA y humedad	Muy baja	Buena
Reciclabilidad	Buena	Buena
Ópticas	Exactitud en el color	Transparencia

Fuente: (equipo de Abax, n.d.)

El peso, que se calcula con la densidad del material, en este caso no era un factor importante para tener en cuenta, ya que ambos tienen una densidad muy igual, y el tamaño de las piezas no iba a ser significativo, como para que esto influyera en una decisión.

Resistencia, en general para una pieza más resistente, es mejor usar el PETG, pero esto depende del tipo de resistencia que nosotros busquemos, en mi caso el banco sería estático, pero con posibilidad de trasladarlo fácilmente, por ende un factor importante para nuestra aplicación es la resistencia a la tracción, ya que esta nos asegura que nuestra caja no se vaya a romper con la puesta de los tornillos y no se despeguen las capas, la resistencia al impacto, para nosotros no era un factor importante, ya que nuestro banco va a ser fijo, y no va a sufrir golpes.

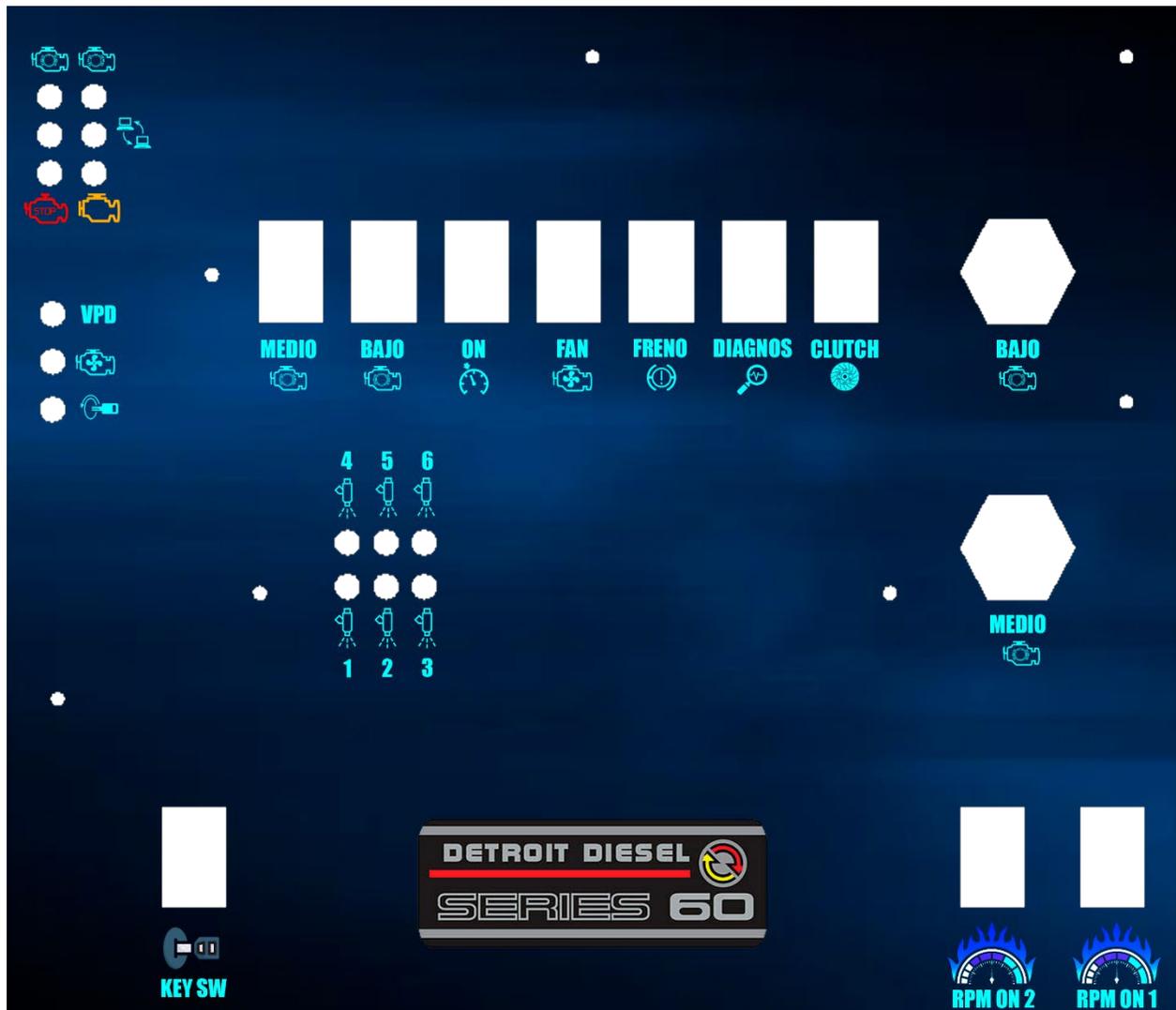
Un factor también que para nuestro caso es bastante significativo era la flexibilidad, ya que necesitábamos que esta fuera baja, porque al imprimir conectores con partes muy delgadas, se debe garantizar que este no se doble, y encaje perfectamente, por eso fue importante la elección del PLA, ya que el PETG es muy flexible y se presta para problemas.

Así que el escogido fue el PLA, ya que cumple con todos los requisitos que nosotros buscamos para las piezas que se debían imprimir en 3D.

6.2 Diseño del adhesivo

Anteriormente se ve el render de cómo sería la tapa y la parte frontal de la caja, pero para darle un aspecto más agradable a la vista, fue importante el diseño de un adhesivo que se pegara en cada parte.

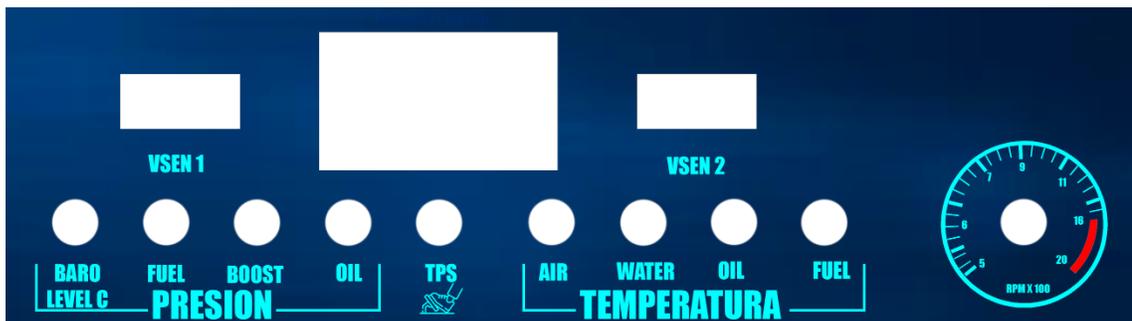
Figura 10: Diseño propio tapa



Nota. Fuente: Propio

Este es el diseño de la tapa, en la cual se ve los diseños e iconos que se crearon para que el operador del banco distinga para que es cada cosa, en la parte inferior izquierda se observa el interruptor de la llave, cuando se usa enciende el módulo, este diseño, nos garantiza que el operador podrá con facilidad distinguir que interruptor debe usar y que actuadores están funcionando al ver los leds encendidos.

Figura 11: Diseño propio frontal



Nota. Fuente: Propio

Este fue el diseño que hice para la parte frontal de la caja, en este caso será uno de los más importantes, porque le indica al operador cuales son los sensores, que va a usar en su diagnóstico, esto es con el fin de facilitar al operador saber que usar, ya que al aplicar RPM, hay sensores que deben variar como es la presión de aceite, y el TPS, ya que si el módulo no detecta acelerador, corta la inyección de combustible, también indica cual es el VSen 1 y el 2, que es muy importante para diagnosticar posibles fallas de sensores.

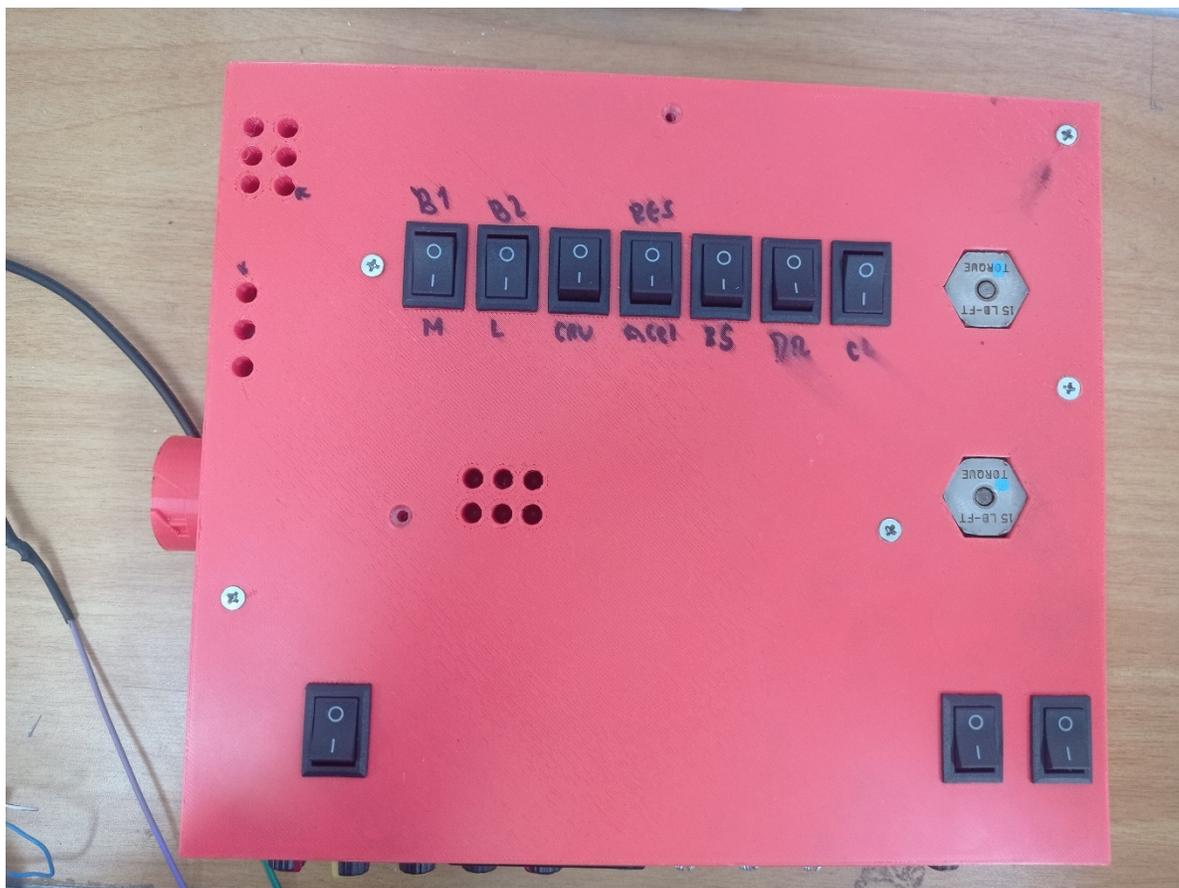
Figura 12: Render como se vería la caja



Nota. Fuente: Propio

La caja una vez pegados los adhesivos, quedaría como se ve en el render anterior, hay que aclarar que el render no muestra los interruptores y demás cosas que tiene la caja en el exterior.

Figura 13: Foto superior caja ensamblada



Nota. Fuente: Propio

Como resultado tenemos un ensamblaje perfecto, con ayuda de los tornillos, y el acople de los frenos de motor es genial, quedaron fijos, y se observa claramente la parte central del solenoide, que es el que se mueve, esta baja cuando se activa y es el que se debe observar funcionando, y los agujeros del led quedaron alineados, ya que todos están perfectos.

Figura 14: Foto frontal caja ensamblada



Nota. Fuente: Propio

En la imagen, se observa la parte frontal del banco, cabe aclarar que aún no se ha puesto el adhesivo, pues aún está en fase de prueba y no queremos que se desgaste. Acá lo más importante es ver que los VSEN y el monitor principal están funcionando de manera perfecta, pues muestra el voltaje de cada VSen y el consumo de corriente total del módulo, esta foto se tomó haciendo una prueba en un módulo que se estaba diagnosticando, en la parte izquierda de la foto, se ve como está conectado la interfaz de diagnóstico, y abajo los inyectores originales, que son los que se activan al dar RPM, esto con el fin de poder hacer un diagnóstico adecuado.

Figura 15: Foto conectores impresos

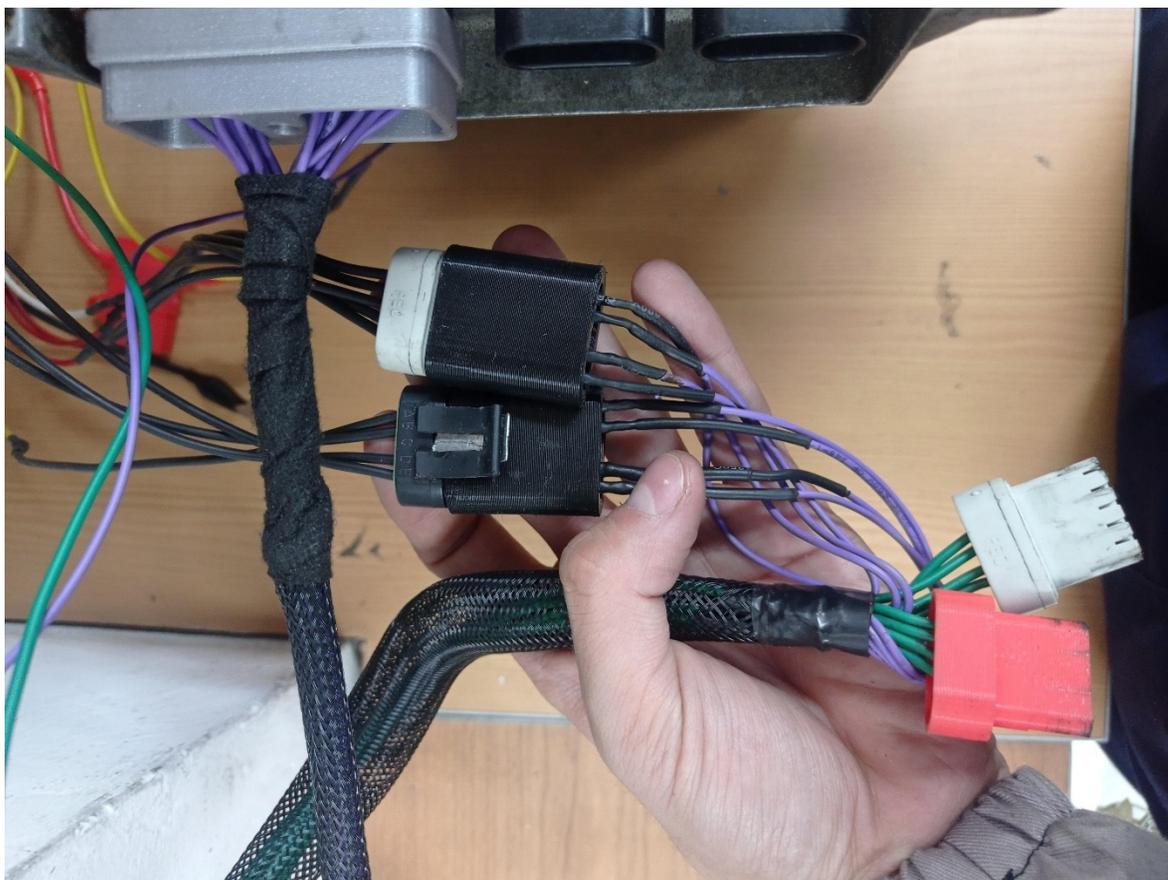


Nota. Fuente: Propio

Anteriormente se mostraba los renders de los conectores como se verían impresos, en la foto se pueden ver como quedaron ensamblados, el que se ve de color blanco, es un conector de inyectores original, por eso se ve diferente se aprovechó porque contábamos con él en el laboratorio, cada conector es diferente, pues tiene unas guías que hacen que no entren en el lugar de otros.

En la parte de los inyectores toco diseñar un jumper, esto debido a que el conector que entra al ECM, tiene la salida de los inyectores, estas señales llegan al banco de diagnóstico, solo con el fin de encender los leds indicadores de cual inyector está encendiendo, para poder diagnosticar si alguno no está activando.

Figura 16: Foto jumper impresos



Nota. Fuente: Propio

Los jumper la función que tienen es poner el conector que va hacia los inyectores con la salida que nos da el ECM, pues es importante que se activen los solenoides originales porque estos tienen un consumo y hacen que no nos generen códigos de falla por inyectores, así que para esto toco tomar las medidas del conector del ECM, y realizar una copia con el fin de que los conectores originales, encajaran perfectamente, estos se observan en la foto anterior de color negro, y se observa con cables de color morado, los empalmes que se hicieron para darle la salida hacia los inyectores del vehículo.

Figura 17: Foto terminales del conector



Nota. Fuente: Propio

Para los conectores, fue importante usar los conectores indicados del ECM, en el laboratorio contábamos con ellos, y se puede observar cómo estos se pinan con el diseño del conector impreso, estos si en algún momento queremos despinarlos por cuestiones de mantenimiento, solo es necesario meter un chuzo delgado por donde está el pin del conector, y esto nos dejara que él se despine y salga para realizar el mantenimiento respectivo.

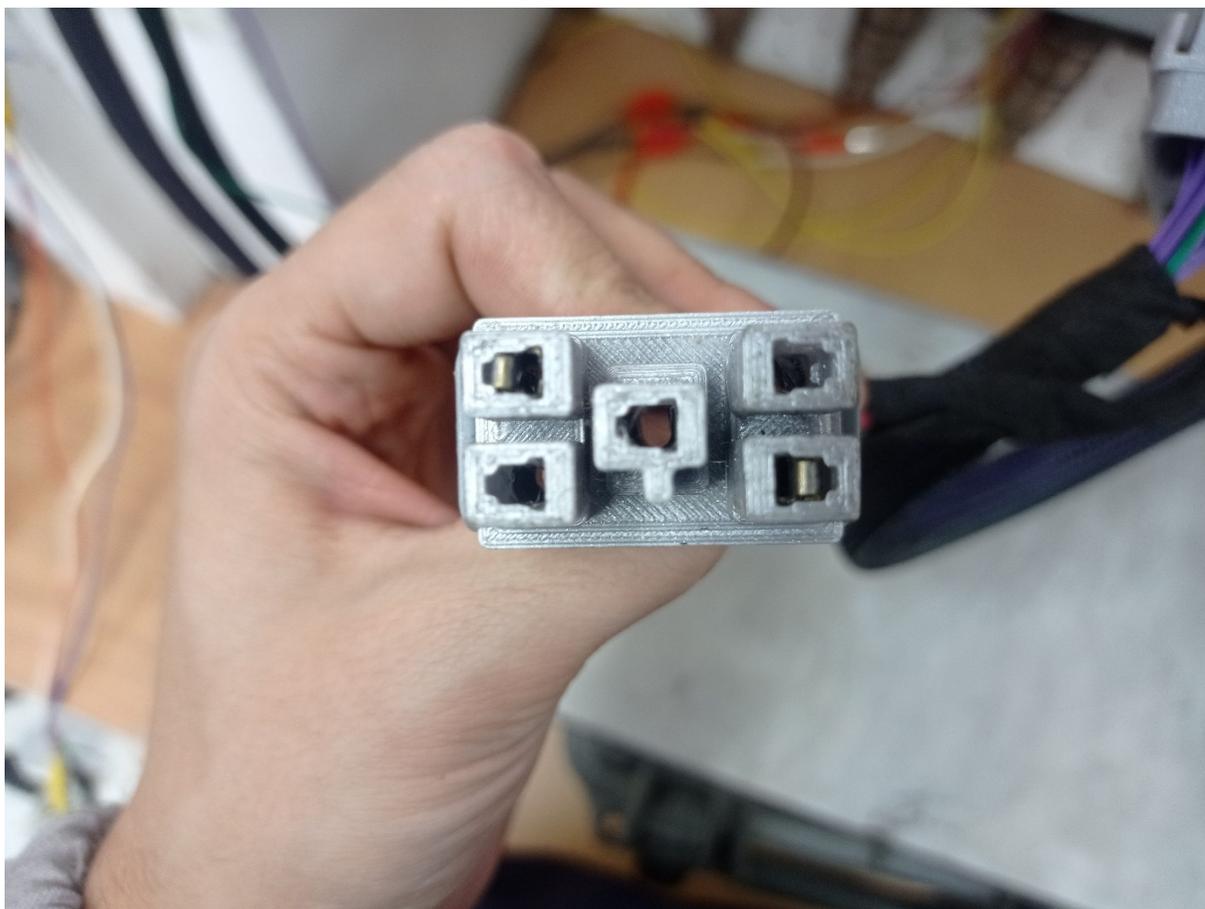
Figura 18: Foto conectores alimentación impresos



Nota. Fuente: Propio

Por este lado observamos el conector de alimentación principal del ECM, este se imprimió el cable de color rojo son 12 V constantes y el verde es tierra, se utiliza un calibre más alto, porque es la corriente principal, al otro lado tenemos el otro conector que se imprimió, el cual tiene la entrada de algunos sensores y salida de algunos actuadores.

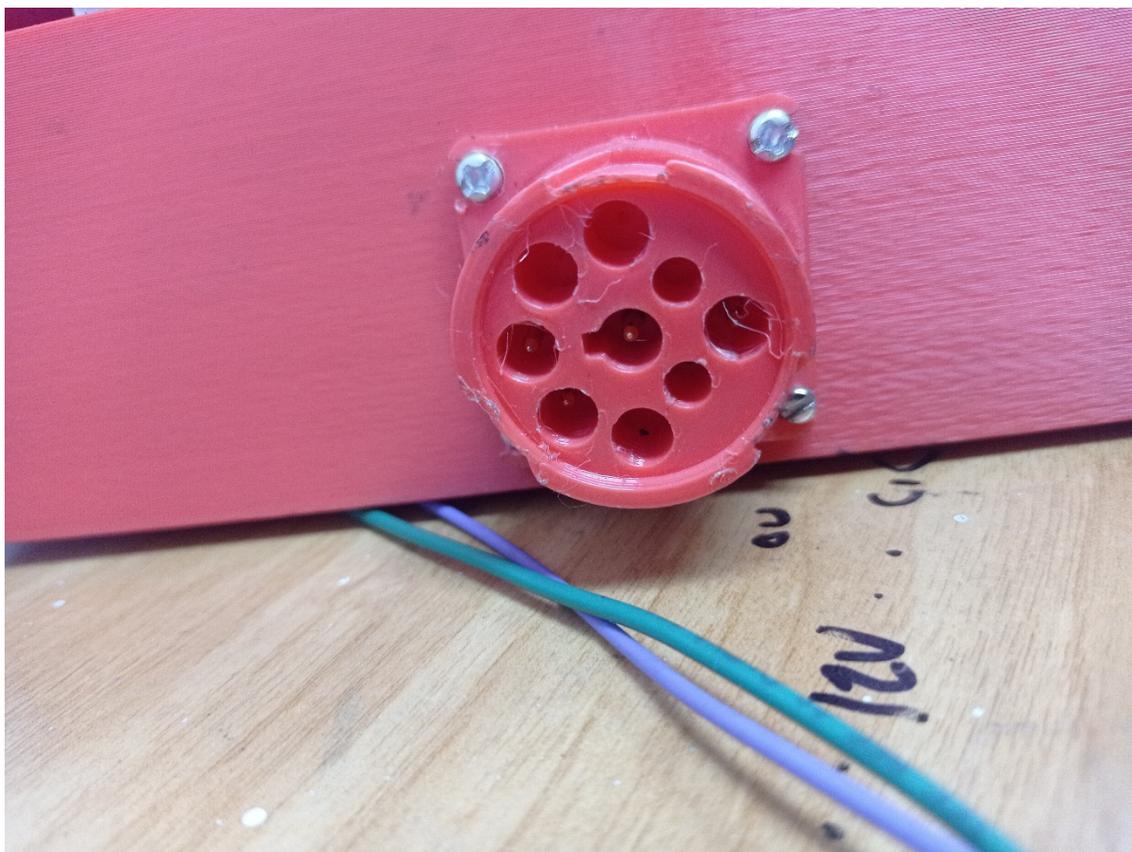
Figura 19: Foto conector voltaje impresos



Nota. Fuente: Propio

Para este conector, se usan unas terminales más grandes que para los demás conectores impresos, pues como se mencionó anteriormente los cables tienen un calibre bastante alto, estos pines fueron un poco más complicados de conseguir, pues no contaba con ellos, así que los saqué de un arnés original con los cables puestos.

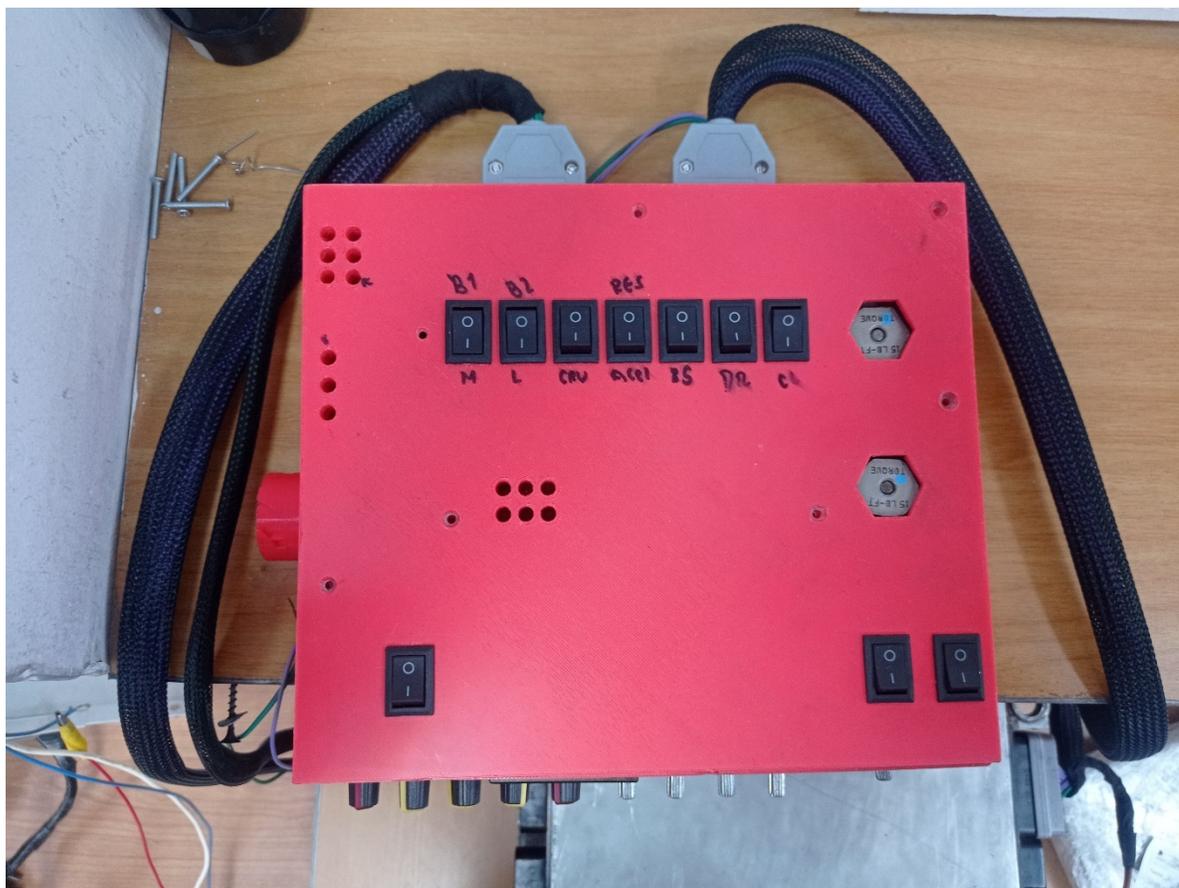
Figura 20: Foto conector de diagnóstico



Nota. Fuente: Propio

Como se observa en el conector de diagnóstico, solo se usan 4 pines de los 9, pues solo cuenta con el protocolo de comunicación de J1708, los otros 2 son alimentación y masa, el conector de diagnóstico fue anclado con la ayuda de 4 tornillos en cada esquina, lo cual nos permitió que quedara super fijo y no se moviera o se girara al momento de poner la interfaz.

Figura 21: Diseño de los cables entre modulo y banco



Nota. Fuente: Propio

Para los cables que van desde el ECM, hasta el banco, se usaron con una longitud aproximada de 1 metro, esto con el fin de que sean largos, aparte se diseñó la conexión en la parte trasera, para evitar que se jalaran los cables internos y evitar daños, para eso se usó los conectores DB25 que hacen el acople entre el banco y el ECM, aparte de esto a cada arnés realizado, se le puso un protector de malla para evitar que se vean todos los cables desordenados, y se protegen del exterior, ante posibles daños.

7. Conclusiones

Se logro adecuar una zona donde estaría el banco de diagnóstico fijo, en la cual se ensamblaron los inyectores a la pared, con el finde que estén fijos, se pudo realizar el código de Arduino que nos sincronizar las señales de posición del motor, para así lograr que el pensara que tiene RPM, esto con el fin de que el ECM empiece a inyectar y considere que está montado en un vehículo encendido.

Se tuvo que realizar una investigación que nos permitiera el desarrollo del banco de diagnóstico de los módulos Serie 60, lo cual nos hizo buscar cual era el mejor modelo que se debía desarrollar para que este se acoplara como se debe, también fue importante realizar una investigación a fondo de cuál sería el mejor material para imprimir las piezas en 3D que se necesitaban en este proyecto.

Se realizo un código funcional en Arduino, el cual nos permitió simular las señales de posición del motor, los cual nos permitía que la ECM pensara que el motor estaba encendido ya que el detectaba RPM y empieza a activar los inyectores.

Se hizo un análisis de las cargas que se debían tener en los actuadores, y por eso se decidió usar los inyectores originales, y los solenoides de freno de motor originales, así tendríamos exactamente la misma carga a la cual se vera sometido en el Vehículo.

Se realizo un diseño CAD, los cuales cumplían con todos los requerimientos necesarios para nuestro banco, así mismo se tuvo en cuenta con cuanto espacio contábamos de impresión y los diseños de los conectores impresos fueron un éxito.

Se busco la forma más eficaz para diagnosticar las ECM, encontrar de manera sencilla las fallas y así poder tomar acciones sobre las mismas en un corto tiempo, se pasó de tener que simular 1 a uno las cosas que tomaba aproximadamente 2 días a hacerlo en menos de 20 minutos, y así poder empezar con la reparación en un menor tiempo, para prestar un mejor servicio a nuestros clientes.

8. Recomendaciones

Algo a tener en cuenta al momento de que alguien vaya a realizar el banco de diagnóstico de cualquier ECM, es que el mayor problema al que yo me enfrente es que el banco no tiene una buena visibilidad de los componentes, esto se debe a que el operador para poder ver cual sensor va a girar se debe agachar, ya que las marcas quedaron por debajo, así que sería bueno que al diseñar la caja, se pensara en una que se pegue a la pared, esto para que todos los interruptores, potenciómetros leds y demás cosas queden siempre al frente de los ojos del operador, y que este no tenga que estar moviendo su cabeza para ver que movió, o que actuador esta activó.

Referencias

- Arduino. (14 de Agosto de 2020). *Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Guide>
- AUTOMOTRIZ, I. Y. (01 de 5 de 2020). *INGENIERÍA Y MECÁNICA AUTOMOTRIZ*. Obtenido de <https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/category/mecanica/sistema-electronico/pcm-ecm/>
- Botero, C. G. (Diciembre de 2016). *MINMINAS*. Obtenido de PLAN DE ACCIÓN INDICATIVO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 2017 - 2022: https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf
- equipo de Abax. (s.f.). *Abax*. Obtenido de <https://abax3dtech.com/2020/12/15/pla-y-petg-caracteristicas-diferencias-y-aplicaciones/>
- Mecafenix, I. (21 de Abril de 2017). *INGENIERÍA MECAFENIX*. Obtenido de La enciclopedia de la ingeniería: <https://www.ingmecafenix.com/electronica/potenciometro/>
- Mecafenix, I. (7 de Junio de 2020). *INGENIERÍA MECAFENIX*. Obtenido de La enciclopedia de la ingeniería: <https://www.ingmecafenix.com/electronica/resistencia-electrica/>
- SAMUEL. (22 de Mayo de 2019). *Detroit Diesel Engine Troubleshooting*. Obtenido de Detroit Repair Manuals: <http://www.detroitmanuals.info/>

Anexos

Anexo 1. Código G usados.