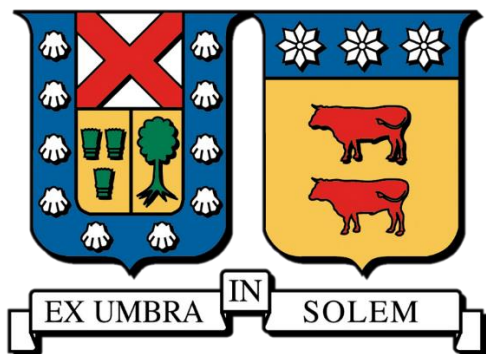


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALARAÍSO – CHILE



**MODIFICACION DE UNA UNIDAD DE CONTROL MOTRIZ (ECU)
ORIGINAL PARA OBTENER UNA MAYOR POTENCIA Y TORQUE SIN
AFECTAR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE UN VEHÍCULO
PROPULSADO POR MOTOR A GASOLINA**

MIGUEL ALEJANDRO PACHECO ZAMORANO

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: DR. ING. GERMAN AMADOR D.

PROFESOR CORREFERENTE: DR. ING. ROBERTO LEIVA ILLANES.

MAYO – 2023

Agradecimientos

Una vez culminado este proyecto tan especial para mí, no me queda más que agradecer a quienes formaron parte del proceso educativo y formación como profesional. Sin ustedes nada de esto pudo ser posible. En un principio agradecer a mis profesores Germán Amador y Roberto Leiva I. quienes desde un principio me aprobaron y apoyaron el tema que deseaba realizar, el cual desarrollé con mucha pasión y compromiso debido al interés que siento por los vehículos. Por otro lado, agradecer a los docentes de laboratorio profesor Daniel Galleguillos por su compromiso y buen trato al coordinar el uso de equipos en beneficencia de mi proyecto. También agradecer a los docentes del departamento de mecánica automotriz Daniel Zapata y Guido Diaz por recibirme y apoyarme como un alumno suyo. Los consejos recibidos y el apoyo fueron de suma importancia para el buen desarrollo del proyecto.

Agradecer a mi familia por brindarme el apoyo emocional en aquellos momentos difíciles, en un principio agradecer a mi madre Malva Zamorano, quien con mucho esfuerzo permitió que pudiera estudiar en la Universidad Técnica Federico Santa María lejos de casa, y que culminando la carrera me apoyó significativamente con el cuidado de mi hijo. A mis hermanos Estephania Pacheco y Pablo Ramírez por aconsejarme para alcanzar mis objetivos desde su experiencia y profesionalismo. A mi pareja Catalina Aravena por apoyarme y aguantarme en mis peores momentos de estrés, y agradecerle por darme un hermoso hijo. A mi tío Luis por darme la oportunidad de trabajar como independiente permitiendo que no nos faltase nada como familia.

Finalmente, agradecer a mi hijo Gaspar Pacheco quien me llena de felicidad y orgullo, enseñándome el amor incondicional de padre, dándome fuerzas para salir adelante y dándome la motivación para alcanzar todos nuestros sueños.

Muchas gracias...

Resumen

En este estudio se busca poder mejorar la eficiencia de un motor de combustión interna a gasolina turbo alimentado mediante la reprogramación de la unidad de control motor (ECU), aumentando sus valores de potencia y torque disminuyendo el consumo de combustible, además, analizar el comportamiento de los gases de escape. La computadora del vehículo es la encargada de controlar parámetros ligados a la operación del motor, mediante la lectura de información por sensores controla el funcionamiento de actuadores. Los parámetros de mayor importancia que fueron modificados corresponden a presión de turbo, avance de chispa y relación aire combustible. Para cuantificar los aumentos logrados, se debe establecer una línea base, midiendo las variables en la condición inicial del vehículo para luego ser comparados con la condición del archivo modificado montado en la centralita. Para esto se monta el vehículo de pruebas en un freno dinamométrico de chasis para encontrar las curvas de potencia y torque, además de realizar ciclos de conducción para la medición del consumo de combustible gravimétrico y las concentraciones de gases de escape para su condición inicial y luego con el archivo modificado.

Las ganancias obtenidas se resumen en un aumento del 18 % en la potencia, cuya línea base contaba con 103 [KW] a 5520 RPM alcanzando un total de 122 [KW] a 5695 RPM. El torque se vio influenciado en un aumento del 26 %, cuya línea base contaba con 197 [Nm] a 4145 RPM alcanzando un total de 249 [Nm] a 4535 RPM.

Por su lado el consumo de combustible se vio influenciado de manera positiva, puesto que se disminuyó en un 7 % el consumo de combustible por cada ciclo de conducción desarrollado. Para el caso base el vehículo utilizaba un total de 8,4 kilómetros por litro, alcanzando un nuevo consumo de 9,1 kilómetros por litro.

Las concentraciones de gases de escape se vieron influenciadas de manera positiva debido a la mejor eficiencia en la combustión desarrollada. La concentración del porcentaje de volumen de monóxido de carbono disminuyó un 95 %, al igual que la disminución de los hidrocarburos en ppm de volumen en un 94 %. Por otro lado, la concentración de dióxido de carbono aumentó un 4 % en el porcentaje de volumen. La lectura de la relación aire combustible mejoró, manteniéndose más cercano al valor estequiométrico de quema total de combustible, aumentando un 2 %. La concentración de los NOx aumentó un 132 % en ppm del volumen mientras que la concentración de oxígeno disminuyó un 4 % en el porcentaje de volumen.

Palabras clave: eficiencia, ECU, potencia, torque, autonomía, reprogramación.

Abstract

This study seeks to improve the efficiency of a turbocharged gasoline internal combustion engine by reprogramming the engine control unit (ECU), increasing its power and torque values, decreasing its fuel consumption, in addition to analyzing the behavior of exhaust gases. The vehicle's computer oversees controlling parameters linked to the operation of the engine, by reading information from sensors it controls the operation of actuators. The most important parameters that were modified correspond to turbo pressure, spark advance and fuel air ratio. To quantify the increases achieved, a baseline must be established, measuring the variables in the initial condition of the vehicle to later be compared with the condition of the modified file mounted on the control unit. The test vehicle is mounted on a chassis brake dynamometer to find the power and torque curves, as well as drive cycles for the measurement of gravimetric fuel consumption and exhaust gas concentrations for its initial condition and then with the modified file.

The gains obtained are summarized in a 20% increase in power, whose baseline had 107 [KW] reaching a total of 128 [KW], the torque was influenced by an increase of 25%, whose baseline had 198 [Nm] reaching a total of 248 [Nm].

For its part, fuel consumption was positively influenced, since fuel consumption was reduced by 7% for each driving cycle developed. For the base case, the vehicle used a total of 8,4 kilometers per liter, reaching a new consumption of 9,1 kilometers per liter.

The exhaust gas concentrations were positively influenced due to the better combustion efficiency developed. Carbon monoxide volume percent concentration decreased by 95 %, as did hydrocarbons in volume ppm decrease by 94 %. On the other hand, the concentration of carbon dioxide increased by 4 % in volume percentage. The air fuel ratio reading improved, staying closer to the stoichiometric value of total fuel combustion, increasing by 2 %. The NO_x concentration increased by 132 % on a volume ppm basis while the oxygen concentration decreased by 4 % on a volume percent basis.

Keywords: efficiency, ECU, power, torque, autonomy, reprogramming.

Índice

1. Introducción y objetivos.....	9
1.1 Introducción	9
1.2 Objetivos	10
1.2.1 Objetivo general.....	10
1.2.2 Objetivos Específicos.....	10
2. Marco Teórico	11
2.1 Unidad de Control del Motor (ECU)	11
2.1.1 La ECU y su funcionamiento.....	11
2.1.2 Componentes de una ECU.....	12
2.1.3 Memorias del bloque de control y procesamiento.....	15
2.2 Conector OBD2.....	16
2.3 Desarrollo de la programación actual, mundial y nacional.....	18
2.4 Empresas dedicadas a la programación.....	18
2.5 Equipos de extracción de archivos.....	21
2.6 Software de edición, drivers y mapas	23
2.7 Cómo modificar mapas	24
2.7.1 Mapa de ángulo de funcionamiento.....	24
2.7.2 Mapa solicitud de par durante despegue	24
2.7.3 Mapa relación aire combustible (lambda)	25
2.7.4 Mapa de presión de turbo.....	25
2.7.5 Presión de Rail.....	26
2.7.6 Mapa avance tiempo de chispa.....	26
3. Metodología	27
3.1 Equipos e Instrumentos	27
3.1.1 Freno dinamométrico de chasis.....	27
3.1.2 Analizador de gases Bosch	30
3.1.3 Balanza digital	33
3.2 Medición del consumo de combustible gravimétrico.....	35
3.3 Vehículo de prueba.	37

3.4 Herramientas de extracción.....	38
3.5 Uso del equipo analizador de gases	39
3.6 Uso de freno dinamométrico de chasis	40
3.7 Modificación de mapas	41
3.8 Escritura del archivo modificado.....	41
4. Resultados y análisis.....	42
4.1 Curvas de potencia y torque.	42
4.2 Consumo de combustible gravimétrico	44
4.3 Concentración de gases de escape.	45
5. Conclusión	50
6. Trabajos futuros	51
7. Referencias.....	52
8.1 Anexo: Ciclo de conducción NEDC	55
8.2 Anexo: Promedios Potencia y Torque para línea base y archivo modificado.	56
8.3 Anexo: Esquema de sensores, unidad de control electrónico y actuadores. [33]	60

Índice de figuras

Figura 1: División de bloques de una ECU.	13
Figura 2: Terminales del conector OBDII.....	17
Figura 3: Comunicación con ECU abierta, herramienta KTAG de la marca ALIENTECH.....	17
Figura 4: Página web de KENNER MOTORSPORT, empresa dedicada a la venta de accesorios y archivos de performance.	20
Figura 5: Página web de XRAYCHIPPED, empresa dedicada a la venta de archivos modificados, equipos de comunicación y capacitaciones.	20
Figura 6: Página web de INGEZMAQ, empresa dedicada a la venta de archivos modificados, equipos de comunicación y capacitaciones..	20
Figura 7: Kess V2 Alientech herramienta de comunicación.....	21
Figura 8: Protocolo seleccionado para un modelo de vehículo.	22
Figura 9: Menú de operaciones para un protocolo seleccionado.....	22
Figura 10: Visualización de ciclo de marcha en pantalla.....	29
Figura 11: Pantalla con datos del vehículo para medición de potencia continua.	30
Figura 12: Valores para potencia normalizada.....	30
Figura 13: Analizador de emisiones Bosch BEA 250.....	31
Figura 14: Pantalla de equipo analizador de gases Bosch BEA 250.	33
Figura 15: Balanza digital SNOWREX NHV-30.	33
Figura 16: Software de balanza digital.	34
Figura 17: Estanque de combustible externo sobre la balanza digital.	35
Figura 18: Bomba de combustible original Audi utilizada en estanque de combustible externo. ...	36
Figura 19: Conexión de corriente y combustible para funcionamiento de bomba.	36
Figura 20: vehículo de prueba Audi A4 B6 1.8 T 20V.	37
Figura 21: Herramienta de comunicación KESS V2 conectado mediante puerto OBD2.....	38
Figura 22:Protocolo de comunicación usado en software KSUITE para el modelo del vehículo de prueba.	38
Figura 23:Proceso de chequeo ID para vehículo de prueba.	39
Figura 24:Equipo analizador de gases BOSCH BEA 250.	40
Figura 25:Amarre de vehículo parte frontal sobre freno de rodillos.	40
Figura 26:Amarre de vehículo parte trasera sobre freno de rodillos.	41
Figura 27: Gráfica promedios potencia y momento para línea base y archivo modificado.	42
Figura 28: Gráfica promedio de concentración de monóxido de carbono [CO] para línea base y archivo modificado.....	46
Figura 29: Gráfica promedio de concentración de dióxido de carbono [CO ₂] para línea base y archivo modificado.....	46
Figura 30: Gráfica promedio de concentración de hidrocarburos (HC) para línea base y archivo modificado.	47
Figura 31: Gráfica promedio de concentración de relación aire combustible según valor lambda línea base y archivo modificado.	47
Figura 32: Gráfica promedio de concentración de NO _x para línea base y archivo modificado.....	48
Figura 33: Gráfica promedio de concentración de oxígeno (O ₂) para línea base y archivo modificado.	48

Índice de tablas

Tabla 1: Tipos de memorias programables	14
Tabla 2: Marcas dedicadas a la venta de archivos modificados de carácter mundial	20
Tabla 3: Precisión y resolución de concentraciones de emisiones.	33
Tabla 4: Ficha técnica Audi A4 B6 1.8 T 20V.	40
Tabla 5: Resumen de valores asociados a potencia y torque para pruebas con línea base y archivo modificado	49
Tabla 6: Resumen valores de masas iniciales y finales para línea base y archivo modificado	49
Tabla 7: Promedios de concentraciones a lo largo del ciclo de conducción europeo (NEDC) para línea base y archivo modificado	50

1. Introducción y objetivos

1.1 Introducción

Con el correr de los años los vehículos han ido evolucionando significativamente, principalmente con la implementación de la electrónica para comandar diferentes actuadores ligados a la operación del motor, claro ejemplo fue el cambio de los vehículos carburados compuestos de solo mecanismos al paso de la inyección, la cual debe estar acompañada de una computadora que pueda enviar la señal a los inyectores para su funcionamiento según el contexto de la conducción. Junto a la inyección de combustible se han sumado otros mecanismos que operan con señales eléctricas como tiempos de encendido por chispa, sistemas de aire como presión de turbo y mariposa de admisión, apertura de válvulas electrónicas, mecanismos de seguridad como frenos ABS y controles de tracción, solicitud de par, mapas relacionados a la mezcla aire combustible, entre otros, mientras más moderno sea el vehículo contará con una mayor cantidad de mecanismos comandados por la unidad de control del motor. Debido a esto se torna fundamental poder conocer cómo operan y almacenan la información las computadoras para poder realizar modificaciones en su operación. Para este caso en particular se procederá a reprogramar la computadora del vehículo con el fin de poder mejorar su desempeño en cuanto a potencia, torque y consumo de combustible, sin alterar de manera negativa las concentraciones de gases de escape. Se explicarán los mapas dentro del archivo que están relacionados con la operación del motor, logrando interpretar y comprender la modificación según su operación, puesto que una reprogramación puede tener diferentes objetivos, entre los más interesantes corresponde la modificación de un vehículo para una operación con más de un combustible, ya sea etanol, metanol, gas licuado e incluso hidrogeno, en donde es necesario modificar los parámetros de operación del motor directamente desde la computadora digitalizando nuevas matrices de operación para su correcto funcionamiento. En esta oportunidad se cuenta con un freno dinamométrico de chasis en donde se podrán cuantificar las diferencias de potencia y torque entre la línea base con el archivo original versus las pruebas con el archivo modificado, además, junto a ello se medirán diferentes concentraciones de gases de escape gracias a un analizador de gases. Con la ayuda del software encargado de la operación del freno se realizarán ciclos de conducción, en donde se expone el vehículo a condiciones urbanas y extraurbanas para poder analizar el consumo de combustible gravimétrico y las emisiones de gases.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Reprogramar unidad de control motriz (ECU) original modelo 0261208525 montado en un motor de 1.8 litros turboalimentado para lograr una mayor potencia y torque.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Medir el consumo específico de combustible, potencia a la rueda y torque de un vehículo operando con el archivo original montado en la ECU.
- Medir el consumo específico de combustible, potencia a la rueda y torque de un vehículo operando con el archivo modificado montado en la ECU.
- Evaluar el impacto de la reprogramación sobre las emisiones de gases contaminantes.

2. Marco Teórico

2.1 Unidad de Control del Motor (ECU)

2.1.1 La ECU y su funcionamiento

La ECU nombrada así por sus siglas en inglés (Engine Control Unit) o también denominada unidad de control electrónico corresponde al cerebro del vehículo, puesto que es la encargada de controlar los parámetros que ayudan a optimizar el funcionamiento de este según las circunstancias. Al comienzo la centralita tenía solo la función de controlar la cantidad de combustible que se inyectaba para llevar a cabo la combustión, con ello se reducía el consumo y las emisiones de gases contaminantes en comparación con aquellos vehículos que solo operaban con piezas mecánicas. Hoy en día las computadoras manejan una mayor cantidad de información relacionada con la operación del motor, son capaces de controlar el punto de ignición, el tiempo de apertura o cierre de válvulas, el nivel de impulso mantenido por el turbo, el caudal de la bomba de alta en inyección directa o presión de riel, entre muchos aspectos ligados a la seguridad en la conducción. Para poder desarrollar su función la centralita trabaja en conjunto con sensores que mandan la señal de distintos parámetros de importancia, entre los más importantes se encuentran:

Sensor de presión absoluta (sensor MAP, Manifold Absolute Pressure): corresponde al sensor de presión absoluta del múltiple de admisión, este utiliza la presión de aire en la admisión para definir la cantidad adecuada de aire y combustible requeridas para los cilindros de encendido. [1]

Sensor de posición del acelerador: como bien lo indica su nombre este sensor es el encargado de cuantificar y entregar como señal eléctrica la posición del acelerador para el caso de vehículos con pedal electrónico, corresponde al sensor con el cual el conductor se comunica con la centralita. Con esta información el vehículo entrega el torque que el chofer desea, va ubicado en el pedal del acelerador y sus valores comúnmente varían entre 0 y 1 [V].

Sensor de temperatura y presión de aceite: para comprobar que el aceite está fluyendo correctamente los vehículos vienen equipados con sensores en su canales por donde circula el fluido, la idea es poder capturar la temperatura que posee y la presión, para el caso de la temperatura (sensor EOT, Engine Oil Temperature) el sensor va variando su resistencia interna que le permite transformar en señal y ser enviada a la ECU, para el caso del sensor de presión de aceite (sensor OPS, Oil Pressure Sensor) utiliza un manómetro encargado de medir la presión de aceite del motor, también existen otros que operan con un bulbo el cual es sometido a la fuerza de empuje del fluido enviando una señal de voltaje a la unidad de control del motor. [2]

Sensor de temperatura del aire: este sensor es el encargado de medir la temperatura del aire que ingresa en la admisión, va ubicado cerca de la ventilación de entrada de aire en la parte frontal del sistema, contiene una resistencia que va variando su valor dependiendo la temperatura para entregarlo como señal en la centralita.

Sensor de oxígeno: va ubicado en el múltiple de escape comúnmente o en alguna zona de la línea de escape, y ayuda a detectar mezclas ricas o pobres, estos involucran una reacción química en su interior que genera un voltaje que es enviado como señal a la computadora, así esta puede ajustar la cantidad de combustible inyectado en la admisión.

Sensor de posición de cigüeñal (sensor CKP, Crankshaft Position Sensor): este sensor se encarga de enviar señales a la computadora del auto indicando la posición en la cual se encuentra el cigüeñal, en el momento en que los pistones se encuentran en el punto muerto superior. Este sensor trabaja con una rueda dentada acoplada al cigüeñal, en donde convierte la posición en una señal eléctrica que es enviada a la ECU para poder determinar el pulso de encendido de los inyectores. Además, entrega información sobre las revoluciones con las cuales está operando el motor. Cabe destacar que trabaja en conjunto con el sensor de posición de levas.

Sensor de posición del árbol de levas (sensor CMP, Camshaft Position Sensor): es el encargado de entregar información sobre la posición en la cual se encuentran las levas, para ello detecta una corona dentada que se encuentra en el árbol de levas, con el movimiento se modifica la tensión del circuito integrado para ser enviada como señal eléctrica a la centralita. Este sensor trabaja en conjunto con el sensor CKP para determinar el comienzo de la inyección en una inyección del tipo secuencial. [2]

Las principales funciones de la ECU son las siguientes:

- Control de la inyección de combustible: Para un motor con inyección de combustible, la ECU determinará la cantidad de combustible que se inyecta basándose en ciertos parámetros. La información proviene de sensores relacionados con el aire en la admisión, como caudal y temperatura, para luego ser procesada dentro de la centralita y según los mapas almacenados en la memoria se determina el tiempo de apertura de los inyectores.
- Control del tiempo de ignición: Un motor de ignición de chispa necesita para iniciar la combustión una chispa en la cámara de combustión. La ECU puede ajustar el tiempo exacto de la chispa (llamado tiempo de ignición) para proveer una mejor potencia y un menor gasto de combustible. La información es enviada por parte de los sensores de posición de árbol de levas y cigüeñal, la cual es procesada y enviada a las bobinas para el actuar de las bujías. Si la ECU detecta una combustión anormal, y "analiza" que esto se debe a que el tiempo de ignición se está adelantando al momento de la compresión, ralentizará (retardará) el tiempo en el que se produce la chispa para prevenir la situación. [3]

En la actualidad, las ECU's en la mayor cantidad de automóviles son programables, lo que permite leer los códigos de error y modificar parámetros de operación frente al reemplazo de partes como el cambio del turbocompresor, intercooler, tubo de escape, inyectores, entre otros. Como consecuencia de estos cambios, la ECU puede no proveer un control apropiado con la nueva configuración. En estas situaciones, una ECU programable es la solución, la cual puede ser programada de manera directa con una computadora mientras el motor está en marcha. [4]

2.1.2 Componentes de una ECU

La ECU está hecha básicamente de hardware y software (firmware). El hardware está hecho de componentes electrónicos en una placa de circuito impreso (PCV) como se muestra en la Figura 1. El componente más importante es un chip microcontrolador junto con una memoria programable o un chip de memoria flash. El software es un juego de códigos de menor nivel que se ejecuta en el microcontrolador, este es quien recibe los datos que están almacenados internamente en una memoria programable y los ejecuta. [5]

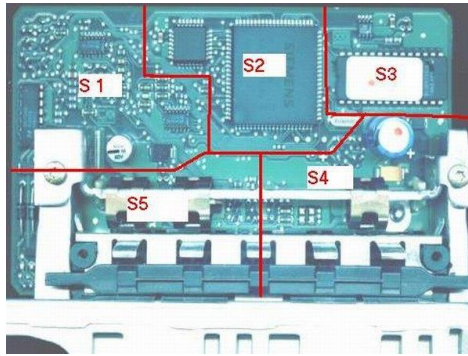


Figura 1: División de bloques de una ECU. [4]

En la Figura 1 se puede observar los diferentes bloques de trabajo de una computadora automotriz mediante los cuales realiza su funcionamiento, entre estos bloques se puede encontrar los siguientes:

- Bloques de alimentación o soporte.
- Bloque de control y procesamiento.
- Bloque de entrada.
- Bloque de salida.

Bloque de entrada (S1):

Está constituido por todos los circuitos que operan como receptores de las diferentes señales de los sensores que van a ingresar al microprocesador. Se denomina bloque de entrada a los circuitos que se encuentran como receptores de las diferentes señales que van a ingresar a la ECU y antes de que lleguen al microprocesador. Encontramos en este sentido: filtros, amplificadores, conversores analógicos a digital, comparadores, recortadores, entre otros. [6]

Bloque de control y procesamiento (S2, S3):

Un bloque de control es un circuito que cumple las funciones de programación de la ECU y está formado por: procesador, memorias y circuitos que intervienen en el trabajo del software. El microprocesador es quien realiza cálculos utilizando números, gracias a que contiene el sistema operativo (firmware), y tiene la capacidad de almacenar memoria para datos y cálculos. Además, se comunica con sensores para recepción de información, se comunica con actuadores donde envía la información y es quien entrega, por ejemplo, los datos a las herramientas de diagnóstico para detectar alguna falla.

Los actuadores son componentes electrónicos que constituyen la interfaz entre el procesamiento de la información generada por los sensores y el proceso mecánico, además; reciben señales eléctricas desde el módulo de control según su programación para corregir los parámetros de funcionamiento del motor. Los actuadores que intervienen en el sistema de inyección electrónica de combustible y cuyo control depende de las señales que son enviadas por los sensores del sistema hacia la ECU son: Inyectores de combustible, bobina de encendido, relés eléctricos y electroválvulas en general. [7]

Los microprocesadores son circuitos integrados que simplemente ejecutan instrucciones de propósito general, estos trabajan con un programa de instrucciones que son proporcionadas por un programador. Este programa le dice al microprocesador que realice secuencias de acciones simples para lograr tareas útiles como las pensadas por el programador. Cuentan con dispositivos de entrada y de salida, los dispositivos de entrada proporcionan información del mundo exterior al sistema, la mayoría de las entradas del microprocesador pueden procesar sólo señales de entrada digital, al mismo nivel de voltaje que el de la fuente de alimentación. Se usan dispositivos de salida para comunicar la información o acciones del sistema con el mundo exterior, la mayoría de las salidas son señales de nivel lógico digital, que se usan para manejar LEDs o dispositivos eléctricos como relés o actuadores. [8]

Bloque de alimentación o soporte (S4):

Cumple la función de alimentar a todos los circuitos de entrada, control y salida, es decir, esta es la fuente de alimentación de la computadora del vehículo. Este circuito está diseñado para proteger el módulo y mantener un nivel de tensión estable al interior de este, en los elementos de procesamiento no se permite cambios en los niveles de tensión, las señales enviadas por los sensores se caracterizan por los cambios de voltaje. Está compuesta por diodos, condensadores, reguladores de voltaje y transistores. Se puede identificar fácilmente con la ECU abierta puesto que posee la zona más poblada de la placa PCV. Los componentes principales son: [9]

- Transistores: encargados de amplificar la señal, además de un trabajo de conmutador o rectificador.
- Diodos: permiten el paso de corriente en un sentido, posee dos terminales llamados ánodo y cátodo.
- Condensadores: encargado de aumentar la energía para que no existan bajas en el voltaje de operación.
- Regulador de voltaje: regulan el voltaje para entregar el necesario según operación.

Bloque de salida (S5):

En una computadora automotriz, existen circuitos de entrada y salida para el procesamiento de señales en el microprocesador. De acuerdo como las señales de los elementos electrónicos son tratadas al ingresar, antes de llegar al microprocesador por circuitos previos que se han denominado bloque de entrada, existen luego circuitos que se encuentran entre las salidas del microprocesador y los diferentes elementos que van a ser los denominados actuadores. Aparecen así amplificadores, circuitos de potencia con transistores, los denominados drivers o manejadores, entre otros. Corresponde a aquellos componentes controlados por el micro que actúan sobre los diferentes periféricos de potencia, como, por ejemplo: bobinas de encendido, inyectores y relés [6].

En el Anexo 8.3 se observa como las señales de entrada por parte de sensores son trabajadas en el bloque de control y procesamiento de la ECU, para luego ser enviadas a actuadores.

2.1.3 Memorias del bloque de control y procesamiento

Las computadoras y otros tipos de sistemas digitales requieren el almacenamiento permanente o temporal de un gran número de datos binarios. Los sistemas basados en microprocesadores necesitan de la memoria para almacenar los programas y datos generados durante el procesamiento y disponer de ellos cuando sea necesario. Las modernas técnicas de circuitos integrados permiten combinar miles e incluso millones de puertas dentro de un solo encapsulado. Esto ha llevado a la fabricación de diseños más complejos como los dispositivos lógicos programables, memorias y microprocesadores, que proporcionan dentro de un solo chip circuitos que requieren gran cantidad de componentes discretos. [6]

En la Tabla 1 se muestran los principales tipos de memoria y su descripción, se presentan de acuerdo con el desarrollo y utilización cronológica en la industria de la electrónica.

Tabla 1: Tipos de memorias programables

Siglas	Descripción
ROM	Memoria de solo lectura
PROM	Memoria de solo lectura programable
EPROM	Memoria de solo lectura programable y borrrable
EEPROM	Memoria de solo lectura eléctricamente programable y borrrable

Memoria ROM:

Es una memoria de sólo lectura que se programan mediante máscaras, es decir, el contenido de las celdas de memoria se almacena durante el proceso de fabricación para mantenerse después de forma irrevocable; por lo tanto, la escritura de este tipo de memorias ocurre una sola vez y queda grabado su contenido aunque se le retire la energía. La memoria ROM (Read Only Memory) se usa para almacenar información vital para el funcionamiento del sistema, por ejemplo, en la gestión del proceso de arranque, el chequeo inicial del sistema, carga del sistema operativo y diversas rutinas de control de dispositivos de entrada y salida, suelen realizar las tareas encargadas a los programas grabados en ROM. Estos programas forman la llamada BIOS (Basic Input Output System). Junto a la BIOS se encuentra un chip donde se almacenan los valores que determinan la configuración de hardware del sistema, como tipos de unidades, parámetros de los discos duros, fecha y hora del sistema, entre otros. Esta información no se pierde al apagar la computadora y se pueden modificar por medio del SETUP [10].

Memoria PROM:

Una alternativa para proyectos pequeños es el uso de una memoria de sólo lectura programable (PROM, Programmable Read Only Memories), memoria basada en semiconductores que contiene instrucciones o datos. Éstas existen en muchas variantes, pero todas permiten que el usuario programe el dispositivo por sí mismo, ahorrándose el alto costo de la producción de la máscara. En la PROM los contenidos pueden ser leídos, pero no modificados por un programa de usuario. Sus contenidos no se construyen directamente en el procesador cuando éste se fabrica,

sino que se crean por medio de un tipo especial de “programación”, ya sea por el fabricante, o por especialistas técnicos de programación del usuario. El proceso de programación es destructivo: una vez grabada, es como si fuese una ROM normal.

Las prestaciones de las memorias PROM son similares a las anteriores, con la única salvedad del proceso de programación. La escritura de la memoria PROM tiene lugar fundiendo los fusibles, por lo que la memoria PROM solo puede ser programada una vez. [10]

Memoria EPROM:

Las EPROM se programan mediante impulsos eléctricos y su contenido se borra exponiéndolas a la luz ultravioleta (de ahí la ventanita que suelen incorporar este tipo de circuitos), de manera tal que estos rayos atraen los elementos fotosensibles modificando su estado. Una vez grabada una EPROM con la información pertinente, la memoria es instalada en el sistema correspondiente donde será utilizada como dispositivo de lectura solamente. Eventualmente, ante la necesidad de realizar alguna modificación en la información contenida o bien para ser utilizada en otra aplicación, la EPROM es retirada del sistema, borrada mediante la exposición a luz ultravioleta, programada con los nuevos datos, y vuelta a instalar para volver a comportarse como una memoria de lectura solamente. [11]

Entre las aplicaciones generales, se destacan las de manejo de sistemas microcontrolados. Todo sistema microcontrolado y/o microprocesado se encontrará con cierta cantidad de memoria programable por el usuario (RAM), usualmente en la forma de dispositivos semiconductores contenidos en un circuito integrado. Dado que cualquier sistema microprocesado requiere de al menos un mínimo de memoria no volátil donde almacenar ya sea un sistema operativo, un programa de aplicación, un lenguaje intérprete, o una simple rutina de actualización, es necesario utilizar un dispositivo que preserve su información de manera semipermanente [10].

Memoria EEPROM:

La memoria EEPROM es programable y borrrable eléctricamente y su nombre proviene de la sigla en inglés *Electrical Erasable Programmable Read Only Memory*. Actualmente estas memorias se construyen con transistores de tecnología MOS (Metal Oxide Silice) y MNOS (Metal Nitride-Oxide Silicon). Las celdas de memoria EEPROM son similares a las celdas EPROM y la diferencia básica se encuentra en la capa aislante alrededor de cada compuesta flotante, la cual es más delgada y no es fotosensible.

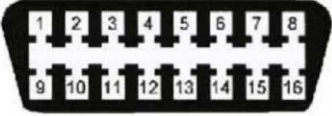
Las memorias EEPROM son memorias no volátiles y eléctricamente borrrables a nivel de bytes. La posibilidad de programar y borrrar las memorias a nivel de bytes supone una gran flexibilidad, pero también una celda de memoria más compleja. [11]

2.2 Conector OBD2

Los sistemas integrados de diagnóstico están presentes en la mayoría de los automóviles y camionetas de hoy en día. Durante los años 70's y principios de los 80's los fabricantes comenzaron a usar medios electrónicos para controlar las funciones y diagnosticar problemas de motor. Esto fue principalmente para satisfacer las normas de emisión de gases contaminantes de EPA. A través de

los años los sistemas de diagnóstico se han vuelto más sofisticados. El estándar más reciente es OBD-II, este estándar fue introducido a mediados de los 90's, controla el motor casi completamente y también monitorea partes del chasis, el cuerpo, los accesorios y la red de diagnóstico de control del coche. OBD-II proporciona un método universal de inspección y diagnóstico para asegurarse de que el automóvil está trabajando bajo las especificaciones del fabricante. Comúnmente están ubicados bajo el manubrio de dirección de vehículo, dentro de la cabina, corresponderá al canal de comunicación por el cual accederemos a las memorias del vehículo, esto mediante el instrumento de extracción de archivos explicado más adelante. En la Figura 2 se muestra el detalle que entrega cada uno de los pines ubicados en el puerto.

Terminales del Conector OBDII



1 – Sin uso	9 – Sin uso
2 - J1850 Bus positivo	10 - J1850 Bus negativo
3 – Sin uso	11 – Sin uso
4 - Tierra del Vehículo	12 – Sin uso
5 – Tierra de la Señal	13 – Tierra de la señal
6 - CAN High	14 - CAN Low
7 - ISO 9141-2 - Línea K	15 - ISO 9141-2 - Línea L
8 – Sin uso	16 - Batería - positivo

Figura 2: Terminales del conector OBDII [12].

La comunicación con la ECU se realiza mediante el puerto OBD2, pero existen más formas de comunicarse con la ECU, la más común es extrayendo la computadora del vehículo y abriéndola, una vez abierta se accede a la memoria en donde se encuentre la información que se desea modificar. Existe también la posibilidad de no destapar la ECU, para ello se debe conectar los pines que están fuera según el protocolo de comunicación lo indique. En la Figura 3 se muestra como acceder a las memorias internas de la ECU mediante la conexión a los pines sin la necesidad de destapar la computadora. Además, se observa en la Figura 3 la apertura de una ECU, en donde se accede a la memoria de manera directa en la placa.

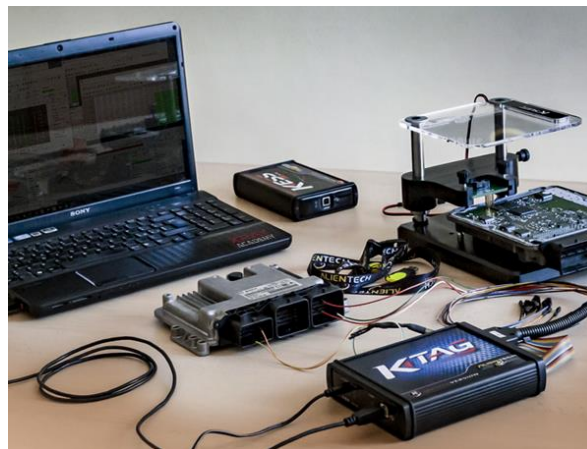


Figura 3: Comunicación con ECU abierta, herramienta KTAG de la marca ALIENTECH [13].

2.3 Desarrollo de la programación actual, mundial y nacional

En la actualidad existen muchos talleres dedicados a la reparación de computadoras y programación de llaves, talleres del tipo mecánicos en donde pueden clonar e instalar computadoras originales en vehículos. Pero son acciones bastantes diferentes de lo que respecta programar con nuevos valores en sus memorias relacionadas a la operación del motor.

Las reprogramaciones para aumentos de potencia se han desarrollado por grandes marcas a lo largo del tiempo, son empresas dedicadas a la creación de piezas de performance en vehículos, es decir, piezas que ofrecen prestaciones mayores a las originales montadas en la carrocería. Las reprogramaciones van de la mano con la instalación de estas piezas, ya que la ECU debe solicitar nuevos parámetros de operación a las nuevas partes. Por ejemplo, si se desea reemplazar un turbo original por un turbo que nos permita cargar una mayor cantidad de masa de aire dentro de la cámara, se debe realizar una programación dentro de la memoria del vehículo, para modificar el mapa relacionado con la presión de turbo y poder digitalizar nuevos valores de presión de trabajo en el compresor. Cabe destacar que los archivos modificados creados por las marcas internacionales son desarrollados en laboratorios, ofreciendo aumentos de potencia que han sido medidos en vehículos de prueba.

En el mundo automotriz, principalmente lo relacionado a aumentos de potencia o las competencias deportivas de vehículos, se habla de los términos stage 1 o stage 2. Estas clasificaciones corresponden a los diferentes niveles de aumento de potencia. Stage del español escalón, corresponde a un nivel con ciertos aumentos de los parámetros, por ejemplo, en un stage 1 la presión de turbo se aumenta un 20% mientras que se comprime la mezcla unos 2 grados más según la posición del cigüeñal, y se modifica la relación aire combustible de operación, entre otras modificaciones. Estos cambios en la relación en que fueron modificados corresponden a una stage 1, mientras que una stage 2 correspondería a los mismos parámetros, pero con un mayor aumento de lo que fue la stage 1. Desde ya se puede comprender que existen niveles infinitos de reprogramación, es por esto que ciertas empresas dedicadas al rubro ofrecen ya no solo una stage 1, sino que agregan un nivel y le llaman stage 1 plus.

Existe un límite de aumento de parámetros cuando se tiene un vehículo completamente original, esto debido a que se llega al límite de operación de trabajo de algún actuador, acá es donde figuran las empresas que venden piezas de performance en donde para los diferentes escalones de potencia deben incluir las piezas que comercializan. Las piezas que comúnmente están ligadas a aumentos de potencia son las líneas de escape sin convertidor catalítico (comúnmente llamados Downpipe, tramo de la línea de escape ubicado en la salida del turbo sin restricciones y de un mayor diámetro), intercambiadores de calor para el aire en la admisión de mayor área (intercooler), turbos de mayores geometrías, inyectores de un mayor volumen, entre otros.

2.4 Empresas dedicadas a la programación

A continuación, se presenta la Tabla 2 con marcas dedicadas a la venta de piezas de performance y de archivos modificados para aumentos de potencia, son de carácter mundial y cuentan con distribuidores de sus bienes y servicios en diferentes países. Al visitar la página web de

alguna marca, se puede simular el aumento de potencia por modelo de vehículo, indicando los diferentes escalones de aumento acompañado de las piezas de performance necesarias.

Tabla 2: Marcas dedicadas a la venta de archivos modificados de carácter mundial.

Nombre	Origen	Descripción
Revo	Inglaterra (2002)	Venta de archivos modificados para aumentos de potencia y piezas de performance (turbos, escapes, inducciones, intercooler, frenos y suspensión) [14]
APR	EE. UU. (1997)	Venta de archivos modificados para aumentos de potencia y piezas de performance (turbos, throttle booster, inducciones, lubricantes, rines, encendido) [15]
Unitronic	Canadá (2004)	Venta de archivos modificados para aumentos de potencia y piezas de performance (escapes, inducciones, intercooler, inyectores) Especialistas en la serie VAG (Audi, Seat, Volkswagen). [16]

Cabe destacar que las empresas dedicadas a la venta de archivos modificados se dedican a la programación de cajas automáticas de doble embrague, las llamadas cajas DSG de la línea VAG. Estas programaciones son con fines de aumento de potencia, puesto que, si bien no aumenta el valor de la potencia como tal, permite disminuir los tiempos transcurridos entre marchas.

Para que finalmente se realice una reprogramación solo basta con escribir un archivo modificado mediante una herramienta de comunicación, no se debe tener un software ni conocimientos en la edición de mapas. Por lo tanto, si una persona desea realizar una modificación en la computadora de su vehículo para un aumento de potencia, o desea instalar un nuevo archivo debido a que reemplazó una pieza de su auto, basta con adquirir un archivo modificado y escribirlo con algún equipo que permita la programación de las memorias de la ECU.

En Chile existen empresas que se dedican a la venta de accesorios de performance como distribuidores de fabricantes internacionales, además de entregar el servicio de escritura de archivos modificados. Al ser representantes no tienen la necesidad de medir los aumentos de potencia ofrecidos. Un claro ejemplo es la tienda Ultra High Performance, ubicados en Santiago, quienes comercializan accesorios y archivos de performance de marcas mundiales.

Por otro lado, están las empresas que se dedican a comercializar sus archivos modificados, con un sello propio. En Chile existe una marca reconocida a nivel nacional llamada Kenner Motorsport, ubicados en Santiago, dedicados también a la venta de accesorios de performance y cuentan con un freno dinamométrico de chasis para demostrar los aumentos ofrecidos a los clientes. En la Figura 4 se observa la página web de KENNER MOTORSPORT, donde está la opción de importar accesorios de performance, y la opción de poder simular los aumentos de potencia para vehículos según modelo y escalón de potencia. Tanto Kenner como otras empresas chilenas dedicadas a la creación de archivos modificados con sello propio entregan la opción de poder ser distribuidor de sus archivos. Otro ejemplo de empresa la cual crea sus archivos corresponde a SOUTH PERFORMANCE, especialistas en el grupo VAG y archivos para su uso deportivo en pista de carreras.



Figura 4: Página web de KENNER MOTORSPORT, empresa dedicada a la venta de accesorios y archivos de performance [17].

En la Figura 5 y 6 se muestran otras dos empresas en Chile que entregan un servicio completo de reprogramación, puesto que además de dedicarse a comercializar sus archivos modificados, ofrece la venta de equipos para la comunicación con la ECU y diagnóstico automotriz, junto a la venta de sus equipos ofrece cursos de capacitación para su utilización. Estas empresas son XRAYCHILE e INGEZMAQ.

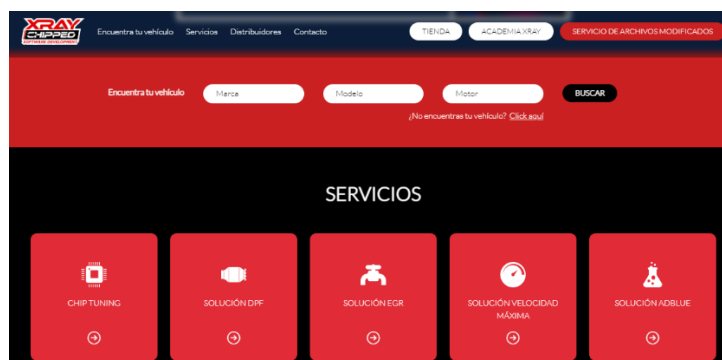


Figura 5: Página web de XRAYCHIPPED, empresa dedicada a la venta de archivos modificados, equipos de comunicación y capacitaciones [18].



Figura 6: Página web de INGEZMAQ, empresa dedicada a la venta de archivos modificados, equipos de comunicación y capacitaciones. [19].

En la página web de XRAY se observan los servicios de reprogramación de mayor demanda, en donde los vehículos diésel toman protagonismo debido a los sistemas que traen incorporados, sistemas asociados a la disminución de emisiones para la homologación según normativas para su comercialización. Existe un mercado en las reprogramaciones enfocado en vehículos turbo Diesel, corresponde a la eliminación por computadora del proceso que involucra el filtro de partículas (DPF), este conlleva un proceso de regeneración en donde se inyecta diésel o urea en el filtro y se disminuyen las emisiones del vehículo. La saturación de este filtro o la falla en cualquier elemento dentro de este proceso comúnmente conlleva un gasto económico elevado para dar solución, por lo tanto, una opción económica es la eliminación del sistema reconfigurando las memorias de la ECU. Además del DPF, existe un mecanismo llamado EGR que trata sobre la recirculación de parte de los gases de escape dentro de la cámara, también puede ser eliminado en caso de falla mediante la reprogramación [20].

2.5 Equipos de extracción de archivos

Para poder extraer el archivo original de la ECU, se debe utilizar una herramienta que pueda actuar como interfaz entre la computadora del vehículo y la computadora personal donde se trabajará el archivo. Es por ello el equipo a utilizar debe contar con un software que se debe instalar en el notebook. En la actualidad existe una gran cantidad de empresas que se dedican a la comercialización de estas herramientas, para esta memoria en particular, se utilizará el equipo KESS V2 de la marca italiana ALIENTECH, en la Figura 7 se muestra el equipo junto a los accesorios. El software utilizado corresponde al KSUITE y debe ser descargado desde la página de ALIENTECH. La comunicación entre la herramienta y la ECU es mediante el puerto OBD2 [13].



Figura 7: Kess V2 Alientech herramienta de comunicación [13].

Para el proceso de lectura del archivo, el primer paso es identificar el modelo de vehículo en donde está montada la ECU, el software cuenta con una extensa lista de vehículos, por lo tanto, se debe reconocer marca, modelo, combustible, año, y la versión del auto, en donde debe poseer igual modelo y código de motor, cilindrada, potencia y torque indicados por el fabricante como se observa en la Figura 8. Estos valores se pueden encontrar en la ficha técnica del vehículo. Una vez que se identifica el modelo, el software arroja el tipo de ECU que posee, se recomienda que se compare el modelo de ECU dictado con el modelo real, acá es necesario ubicar la ECU en el vehículo y comparar la etiqueta con el modelo mostrado en el software.

Una vez que se confirma que el modelo de ECU es el mismo para el protocolo de comunicación dictado en el software, se puede comenzar con la lectura como se observa en la Figura

9, se conecta la herramienta al puerto OBD2 y el otro extremo al laptop, primero se utiliza la función ID, en donde se extrae el número de hardware y modelo de ECU, nuevamente es recomendable comparar dichos valores con los disponibles en la etiqueta de la ECU, si la comunicación se puede llevar a cabo se procede a leer el archivo original con la opción lectura. Se debe seguir una serie de pasos dictados por el software, que principalmente tratan de dar contacto y quitarlo según lo indique, hasta que la comunicación se lleve a cabo y de la opción de guardar el archivo en el computador personal.

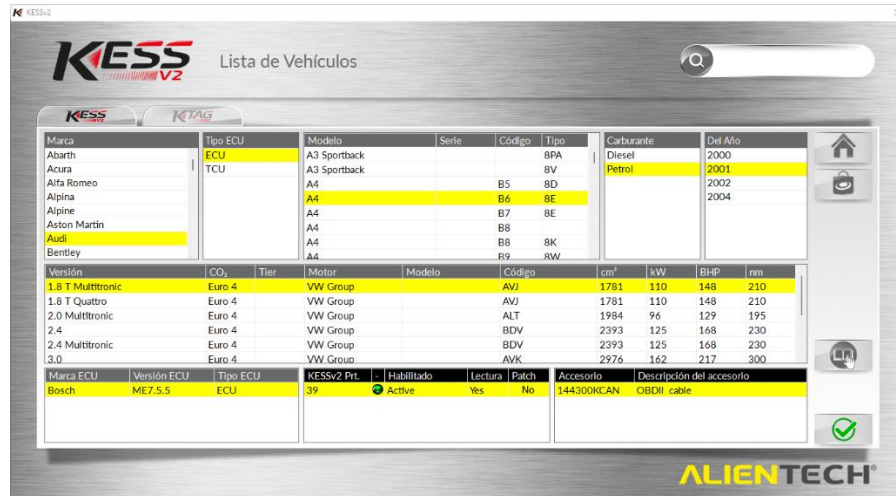


Figura 8: Protocolo seleccionado para un modelo de vehículo.



Figura 9: Menú de operaciones para un protocolo seleccionado.

Es necesario mientras se realiza el proceso de lectura utilizar un mantenedor de batería, así se asegura que el voltaje entregado por la batería a la ECU sea el adecuado y no existan problemas de pérdida de comunicación, puesto que en ningún momento se da arranque al motor.

El proceso de escritura del archivo que ya está modificado se transforma en una tarea sencilla, puesto que ya se tiene el protocolo de comunicación identificado para lo que fue la lectura del archivo. Basta con seguir los pasos que la herramienta de trabajo instruye para desarrollar la acción. Es importante mencionar que las unidades de control motriz cuentan con un factor llamado checksum, que corresponde a un número de seguridad que reúne los parámetros originales y crea un valor, que obviamente al ser modificado un mapa el checksum cambiará, lo cual no permite que el archivo sea cargado. La herramienta que se utiliza para la lectura y escritura corrige este valor de manera automática y segura.

2.6 Software de edición, drivers y mapas

Para la modificación del archivo se utiliza un software que permite modificar parámetros de trabajo almacenado en las memorias de la ECU. En el mercado existe una serie de softwares dedicados a la edición de mapas, estos trabajan de la misma manera, en donde se debe buscar un driver que almacena una cantidad de mapas para cierto modelo de computadora. Dentro del driver existe una serie de mapas ligados a la operación del motor, la cantidad de mapas disponibles está directamente relacionado con la modernidad del motor, puesto que maneja valores de operación para piezas electromecánicas. El trabajo realizado por el creador de drivers se trata de convertir el lenguaje usado por la computadora a un lenguaje legible de fácil interpretación. Convirtiendo así un lenguaje de variaciones de voltajes y corrientes en un mapa como matriz de conducción con dos factores.

Los mapas corresponden a matrices de conducción con valores de fácil lectura y compresión. Siempre dependen de dos factores, ubicados en primera fila y columna de la matriz, en donde para cada pareja de valores existe una cifra que describe la operación del motor. En su mayoría los factores que describen la conducción en la matriz son similares, uno de ellos corresponde a la comunicación del conductor con el vehículo y el otro el comportamiento del motor. Por ejemplo, se pueden presentar como primer factor en la primera fila el porcentaje de Newton metros (% Nm), que corresponde al porcentaje de torque solicitado por el conductor al motor, dicho factor está directamente relacionado con el porcentaje del pedal presionado por parte del conductor. Mientras que el otro factor ubicado en la primera columna de la matriz corresponde a las vueltas con las cuales está girando el motor (RPM). Para cada pareja de factores existe un valor que describe la operación del motor en dicho punto, por ejemplo, ángulo de apertura de mariposa, presión de turbo, avance de chispa, entre otros. Cabe destacar que hay zonas de la matriz en donde el vehículo opera con poca frecuencia con dichos valores, puesto que es difícil operar a 7000 revoluciones por minuto solicitando un 10% de torque. Debido a esto es que no se recomienda modificar la matriz completa, sino que se debe leer la matriz según se conduzca el vehículo y modificar las zonas donde realmente se necesite una mayor cantidad de potencia. De los dos factores por los cuales se rige la matriz de manejo existe uno dependiente y otro independiente, en este caso la variable dependiente correspondería a las RPM del motor según la variable independiente de comunicación con la centralita (% Nm). Este concepto es de utilidad para poder leer la matriz de conducción y comprender las zonas de poco uso y enfocarse en la zona a modificar.

Con respecto a las unidades de medidas que contiene cada factor, existe la posibilidad que el nombre del mapa lo entregue, en caso contrario se debe acudir a la experiencia en la modificación

e interpretar el valor en la unidad correspondiente, por ejemplo, para el caso de los mapas de presión de turbo, en donde los valores pueden encontrarse en unidades de Hectopascales o Pascales.

Para la modificación de valores existen diferentes opciones, se puede trabajar como grupo de valores seleccionando más de uno y realizando aumentos porcentuales, digitalizar el mayor o menor del grupo, aumentos o disminuciones por unidad al grupo de datos, e incluso interpolaciones en la matriz. También simplemente se puede trabajar de un solo valor y reescribirlo.

2.7 Cómo modificar mapas

Dentro de un driver se encuentra una gran cantidad de mapas, para lograr un aumento de potencia no deben ser todos modificados, sino que los relacionados a la operación del motor. A continuación, se detalla brevemente la lectura y significado de los mapas, además de una recomendación para su modificación y lograr un aumento de potencia, estas variaciones dependen del modelo de vehículo y sus componentes mecánicos.

La modificación de la cartografía es libre, es decir, se pueden reescribir valores de operación fuera o dentro del rango admisible por los actuadores. No existe una configuración de modificación por parte del software para la optimización del motor, sino que los cambios realizados se observan mediante la prueba y error.

2.7.1 Mapa de ángulo de funcionamiento

Este mapa permite tener acceso al funcionamiento de la mariposa del vehículo, esta es la encargada de regular la entrada de aire a la admisión, la matriz de funcionamiento tiene como filas los kilogramos de aire por hora, y en las columnas se encuentra el voltaje del pedal que oscila entre 0 [V] y 1 [V]. Mientras que el valor encasillado en la matriz corresponde al porcentaje de apertura de la de la mariposa, siendo 0% la válvula totalmente cerrada y 100% la válvula completamente abierta, es decir, en 90 ° de su posición inicial.

En la mayoría de los casos cuando se desea la mayor cantidad de aire, es decir, tener el pedal totalmente presionado, se busca que la mariposa esté abierta en 90 °, pero esto no ocurre, por lo tanto, se modifica la columna que indique el pedal completo presionado por el valor 100 %. Además, como el mapa relaciona en todo el recorrido del pedal, se pueden modificar los valores encasillados de tal forma de obtener una curva de apertura con una mayor pendiente, permitiendo así que el vehículo tenga una reacción más brusca a lo largo del recorrido. La modificación de estos valores se realiza de manera porcentual, adicionando un 10 a 20% del valor actual.

2.7.2 Mapa solicitud de par durante despegue

En este mapa se enfoca directamente en modificar la comunicación que posee el conductor con la entrega de torque por parte del motor mediante el uso del pedal, comúnmente corresponde a una tabulación de datos en donde un factor es el porcentaje del pedal presionado, mientras que el otro corresponde a las revoluciones del motor. El valor encasillado dentro de la tabla es el porcentaje de torque en Newton metros solicitados, por lo tanto, para cierto porcentaje del pedal presionado a unas determinadas revoluciones, la ECU está programada para entregar un porcentaje de torque desde la transmisión automática. Al momento de modificar estos valores de manera positiva, es decir, incrementándolos de manera porcentual, se observan beneficios que se ven reflejados en la respuesta del motor al momento de conducir, obteniendo un vehículo más ágil,

puesto que para un mismo instante de manejo (igual revolución y porcentaje de pedal) el vehículo entregará una mayor cantidad de torque.

El aumento debe ser de manera porcentual distribuido dentro de todo el mapa de igual forma, el aumento debe ser creciente según el porcentaje del pedal presionado junto con el aumento de las revoluciones, oscilando entre un 5% y 10% adicional al valor encasillado. Se debe tener en cuenta la vida útil de la transmisión, es por ello la recomendación de aumento.

2.7.3 Mapa relación aire combustible (λ)

En esta sección se tiene acceso al mapa con el cual se rige el motor con respecto a la relación aire combustible de operación, que trabaja con el factor λ . Acá se determina en cuantos gramos de aire repartiremos el gramo de combustible. El mapa posee en un costado las revoluciones del motor versus la solicitud de par al motor, esta última es similar al porcentaje de pedal presionado, puesto que corresponde al canal de comunicación previo. Mientras que el valor encasillado corresponde al valor λ , el cual es un valor adimensional. Para la modificación en vehículos turboalimentados se recomienda digitalizar un valor del factor λ igual a 0,9 en las zonas donde se desee una mayor potencia, desde el 75% del pedal presionado hasta el 100%, puesto que es en esa zona donde el conductor solicita el mayor torque. Se recomienda que a medida que se acerca al máximo del pedal presionado se vaya modificando el valor de manera progresiva, sin generar cambios abruptos en el mapa. Con esta modificación se busca poder suplir los aumentos relacionados al flujo de aire. La modificación de este incide directamente en el tiempo de inyección por parte de los inyectores.

2.7.4 Mapa de presión de turbo

Los mapas para modificar la presión del turbo que está cargando en la admisión son variables, se puede encontrar más de un mapa que se deba modificar para lograr en este caso un aumento de potencia. Se habla de presión de turbo, pero en realidad corresponde a la presión que maneja el compresor y no la turbina. En primer lugar, se debe revisar la existencia de algún mapa limitador de la presión de turbo, acá normalmente el fabricante digitaliza valores bajos, comúnmente para alargar la vida útil del motor y del turbocompresor. En este caso se recomienda modificar el valor por un valor alto que el turbo no es capaz de lograr, valores cercanos a 1,5 bar en todo el recorrido. Los drivers poseen un factor de presión atmosférica, que corresponde a la presión del ambiente, es común observar que se modifique este valor para vehículos turbo diésel que operan a alturas considerables. Por otro lado, se debe tener en cuenta que hay vehículos que operan el turbo con una válvula llamada wastegate, esta se encarga de liberar presión que entra a la turbina, de tal forma de poder liberar excesos de presión en su interior gracias a un by pass. Existen wastegate del tipo mecánicas y electrónicas, estas últimas cuentan con un mapa que regula su funcionamiento, si se desea un aumento de potencia, se recomienda disminuir los valores presentes, puesto que estos cuantifican la apertura de la válvula, una menor apertura permite una mayor presión en el interior del turbo.

Cuando se realizan aumentos de presión de turbo, se recomienda que el vehículo cuente con un reloj de presión de turbo para poder saber con exactitud cuanto es el valor que se alcanza, o realizar un scanner que muestre los parámetros en tiempo real con los cuales opera el motor. Las unidades de medida en las cuales son entregados los valores de presión de turbo son variadas, existe la posibilidad que el nombre del mapa entregue el tipo de unidad de medida usado, o en caso

contrario se debe chequear su unidad con ayuda de un scanner o de la literatura. Las unidades posibles son Pascales, HectoPascales y Bar.

2.7.5 Presión de Rail

En vehículos con inyección directa se cuenta con dos bombas, una de alta y una de baja, siendo la de alta la bomba de segunda etapa, esta alimenta los inyectores ubicados en la cámara de combustión. Al aumentar la presión de trabajo del inyector, se mejora la pulverización del fluido dentro de la cámara, pudiendo este repartirse de mejor forma dentro de los cilindros. Este mapa comúnmente no se modifica, puesto que los aumentos de potencia que se desean realizar son sin afectar el consumo de combustible. Es un mapa que se debe tener en consideración en caso de que el vehículo cuente con inyectores de mayor flujo, al modificar este parámetro se “informa” a la ECU que puede inyectar una mayor cantidad de combustible. Es probable que la computadora cuente con un mapa limitador de presión de riel, en ese caso es recomendable reescribir todos los valores reemplazándolos por el valor más alto encontrado en el mapa de presión. Si el limitador posee valores menores a los reales de trabajo se prenderá el testigo de alerta en el tablero (*Check Engine*).

Los factores por los cuales se rige la matriz corresponden a las revoluciones del motor versus el porcentaje de Newton metros solicitados, en donde el valor encasillado va a corresponder a la presión en bar del combustible líquido en el inyector. Si el vehículo cuenta con modificaciones físicas que aumenten el flujo de aire y el vehículo esté trabajando con una mezcla pobre en combustible, es recomendable aprovechar al máximo los inyectores actuales, realizando un aumento porcentual, antes de realizar un cambio de inyectores como tal.

2.7.6 Mapa avance tiempo de chispa

En este mapa en particular, se tiene acceso al momento exacto en que salta la chispa en la bujía, esta acción es mientras el pistón va subiendo en la carrera de compresión, se determina el momento según los grados del cigüeñal previos al punto muerto superior. La idea principal para poder lograr un aumento de potencia es poder comprimir un mayor tiempo la mezcla, puesto que así la energía entregada por la combustión de la mezcla aire-combustible será mayor. Es importante tener en cuenta los efectos de auto detonación (Knock), corresponden a estas detonaciones que se producen mientras se comprime la mezcla por temperaturas excesivas en la cámara. Por lo tanto, es fundamental poder medir con sensores este fenómeno mientras se realizan los cambios. Un método para asegurar una menor temperatura dentro de la cámara de combustión es reemplazar el intercooler (intercambiador de calor ubicado en la admisión de aire) original por uno de mayor tamaño, que genere una diferencia de temperatura mayor, provocando una entrada de aire más fría. Además, el octanaje de la mezcla pasa a tomar un rol fundamental, puesto que dicho valor determina hasta cuanto se puede comprimir dicho combustible, siendo la gasolina de mayor octanaje aquella que puede ser más comprimida sin que provoque estos efectos de auto detonación provocando un picado en los pistones y las partes involucradas en la cámara de combustión.

3. Metodología

3.1 Equipos e Instrumentos

Para el desarrollo de las mediciones se utilizarán tres equipos fundamentales, el primero de ellos corresponde al freno dinamométrico de chasis, en donde se medirá la potencia y torque máximo del vehículo, además de poder realizar ciclos de conducción simulando condiciones de marcha en carretera. Por otro lado, se tiene el equipo analizador de gases, el cual medirá durante los ciclos de conducción diferentes concentraciones de gases de escape. Finalmente se encuentra el equipo encargado de medir el consumo de combustible, este corresponde a una balanza digital que medirá la masa del estanque de combustible con frecuencias de muestreo de un segundo.

3.1.1 Freno dinamométrico de chasis

El freno en el cual se desarrollarán las actividades es modelo FPS 2700 / 5500 de la marca MAHA (Maschinenbau Haldenwang), esta corresponde a una marca alemana especializada en la fabricación de frenos de chasis. El software FPS permite efectuar, en el banco de pruebas, una simulación de las condiciones de marcha definidas. Para llevar a cabo las diferentes tareas de medición pueden seleccionarse los siguientes modos:

- **SIMULACIÓN DE CARGA:** El menú de simulación de carga permite al usuario preseleccionar diferentes condiciones de carga que permiten, por ejemplo, efectuar un diagnóstico concreto del motor o determinar la potencia ascensional de un vehículo. Según la necesidad pueden simularse diferentes condiciones de carga como, por ejemplo, una fuerza de tracción constante, una velocidad constante, un número de revoluciones constante o una simulación de marcha.
- **MEDIR LA POTENCIA DEL MOTOR:** Mediante este punto del menú puede determinarse la potencia del motor de un vehículo (medición continua y discreta).

Las bases de cálculo utilizadas por el software para poder determinar las simulaciones de carga correspondientes constan de calcular la resistencia del avance desarrollada por el vehículo. En donde se involucran diferentes potencias que están presentes en el contexto normal de un movimiento en calle. Debido a esto cuando se desea montar un vehículo en el freno, se debe previamente obtener los valores que el software solicitará.

El rango de operación del equipo posee un máximo de 260 KW, en donde el mínimo correspondería a aquellos vehículos de baja potencia. Para la resolución del freno se tiene un valor de 0,001 KW, valor determinado en base a los resultados entregados por el software, mientras que la precisión es de 0,0005 KW. [21]

Un factor fundamental que se debe considerar corresponde a la resistencia que el viento ejerce sobre la superficie de la carrocería, esta resistencia es trabajada en forma de potencia y es proporcional a la superficie frontal del auto y el coeficiente de resistencia aerodinámica. Se debe revisar entonces las dimensiones frontales, las cuales se pueden encontrar en la ficha técnica del modelo.

Otro factor presente en el movimiento corresponde a la pérdida por la potencia de flexión, también llamada resistencia a la flexión, la cual corresponde a la pérdida de energía originada por el trabajo de flexión del neumático en la carretera o rodillo. Normalmente puede despreciarse por

la influencia de la potencia de flexión a causa del bajo coeficiente de resistencia a la flexión. Junto a la flexión tenemos la potencia de resistencia a la rodadura, la cual se origina por el trabajo de deformación en la rueda y la carretera en función de la velocidad. Como este valor sólo incide de forma mínima en la resistencia total al avance, puede introducirse como valor indicativo fijo: para neumáticos radiales con armadura metálica 2,5 kW, mientras que para neumáticos de invierno 3,75 kW [21].

Debido al funcionamiento del freno con el vehículo, en donde tenemos piezas en constante giro además de exponer el vehículo a grandes esfuerzos y velocidades, se debe tener claro todas las acciones preventivas de seguridad para un desarrollo seguro de las mediciones. Se recomienda revisar exhaustivamente el manual del equipo para el cumplimiento de las normas de seguridad [21].

3.1.1.1 Preparativos para montar vehículo

A continuación, se detallan las acciones para preparar el vehículo para su medición de manera segura. Estas deben ser realizadas en el orden correspondiente manteniendo todas las medidas de precaución descritas en el manual de operación.

1. Comprobar antes de acceder al banco que el perfil del neumático esté libre de partículas, por ejemplo, piedrecitas.
2. Activar el sistema de elevación, conducir el vehículo lentamente y de forma recta en el banco de prueba de potencia y posicionarlo lo más centrado posible. Luego se debe descender el elevador.
3. Luego se debe alinear el vehículo en el rodillo, para ello se deja andar a la velocidad mínima que permite la caja en modo directo hasta que alcanza la alineación.
4. Ahora se debe amarrar el vehículo en ambos extremos, esta acción por muy simple que parezca se debe realizar con suma responsabilidad. En su zona posterior se amarra el vehículo desde el gancho de remolque, con dos eslingas se forma un triángulo fijándolas a la estructura soportante del freno a modo de tensores, se deben ajustar hasta el punto de que estas queden tensas, no se debe ajustar hasta el punto en que el vehículo presente recorrido en su suspensión. En su parte trasera, se engancha con cadenas en la estructura soportante de rampas, de la misma manera que en frente, con ayuda de grilletes se fija a cualquier zona del chasis o enganche de remolque. Se debe tener precaución con los elementos de sujeción y sus extremos libres, puesto que no deben quedar cerca de partes en revolución.
5. Se debe posicionar el ventilador de aire delante del radiador del vehículo.
6. Finalmente esperar el tiempo necesario para que el vehículo alcance su óptima temperatura de operación. Una vez culminado este último paso, se está en condiciones de comenzar con las mediciones [21].

A continuación, se detallan las acciones para realizar las dos pruebas en el freno, la primera de ellas corresponde al desarrollo de un ciclo de conducción y la segunda la medición continua de la potencia, la cual además entrega torque y otras potencias.

3.1.1.2 Ciclos de conducción

Mediante el botón Ciclo de marcha puede simularse en el banco de pruebas un perfil de velocidad con su desarrollo de tiempo y de velocidad. En la Figura 10 se observa el desarrollo requerido de la curva para el conductor de prueba.

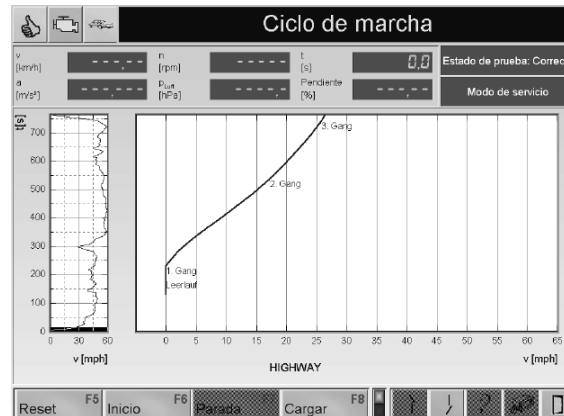


Figura 10: Visualización de ciclo de marcha en pantalla [21].

Se conecta al computador que contiene el software en la cabina un cable HDMI para realizar una doble pantalla, así el conductor puede observar el ciclo de conducción que debe seguir. Se posiciona la pantalla entre el parabrisa y el capó que debe estar abierto.

En el Anexo 8.1, se presenta el ciclo de conducción NEDC que será seguido en el desarrollo de las mediciones, corresponde a un ciclo europeo que se divide en dos partes, la primera de ellas corresponde al ciclo urbano y la segunda a conducción en carretera, esta última alcanza velocidades cercanas a los 120 km/h. El tiempo total del ciclo son 20 minutos y en distancia corresponden a 11016,630 metros [22].

El ciclo de conducción seleccionado corresponde al ciclo de conducción utilizado en el etiquetado vehicular, utilizado por el fabricante para entregar valores de consumo de combustible. Además, es utilizado para la homologación de autos según las emisiones de gases de escape, de igual manera en cómo serán desarrollada las mediciones [23].

3.1.1.3 Medición continua de la potencia

En la medición continua se determina la potencia máxima y se calcula la potencia del motor según DIN 70020, EWG 80/1269, ISO 1585, SAE J1349 o JIS D1001 ECE, DIN, EWG o ISO (opción), dependiendo de la opción seleccionada bajo "Corrección de la potencia". Las curvas para la potencia de la rueda, la potencia de arrastre y la potencia del motor se indican de forma gráfica. Si se ha considerado o medido la presión y temperatura atmosférica, la potencia del motor se representa como potencia normalizada. Para su desarrollo se deben seguir los siguientes pasos:

1. Seleccionar el punto de menú MEDIR POTENCIA DEL MOTOR y, a continuación, el punto de menú MEDICIÓN CONTINUA. Aparece en la pantalla características del vehículo que se deben rellenar como se observa en la Figura 11.

ELPS 2000

Datos del vehículo

Tipo de motor: ☒ Otto ☐ Diesel ☐ Wankel

Sobrealimentación: ☒ Sin sobrealimentador ☐ Turbo (refrig. aire) ☐ Turbo (refrig. agua)

Caja de velocidades: ☒ Manual ☐ Automática

Deslizamiento: ☒ Sin deslizamiento ☐ Medir deslizamiento ☐ Entrada

Accionamiento: ☒ Tracción delantera ☐ Tracción trasera ☐ Tracción 4 x 4

Rango de potencia: ☐ 10kW ☐ 25kW ☐ 50kW ☐ 100kW ☐ 250kW ☐ 500kW

Corrección de potencia: ☐ Sin ☐ DIN ☐ CEE ☐ ISO ☐ JIS ☐ SAE

Factores adicionales: t_a Q_v [%] $P_{v,a}$ [kW]

Valores límite: v_{lim} [km/h] n_{lim} [rpm] T_{lim} [°C]

Masa rotatoria: ☒ Masa rotatoria std. ☐ Calcular m. rotatoria ☐ Entrada

Diversos: ☒ Vehículo OBD

Volver F5 Base de datos F6 Continuar F8

Figura 11: Pantalla con datos del vehículo para medición de potencia continua [21].

2. Al comenzar la prueba se debe acelerar el vehículo de forma moderada y continua hasta llegar a la marcha directa, luego pisar el acelerador a fondo.
3. Una vez que se alcanzó el número de revoluciones nominal del motor, reducir la velocidad y desembragar.
4. Tras realizar la medición se indican la potencia del motor, la potencia de la rueda, la potencia de arrastre y el par motor [21].

Para medir la potencia normalizada primero se debe digitalizar manualmente los valores ambientales (presión barométrica y temperatura) como se indica en la Figura 12 y seleccionar la normativa utilizada, en este caso la ISO 1585.

Valores máximos:		
P-Normal*	71,4	kW
P-Mot	70,4	kW
P-Rueda	54,2	kW
P-Arrastre	16,2	kW
con	4025	rpm
	139,5	km/h
M-Normal*	208,7	Nm
con	2410	rpm
	83,6	km/h

Figura 12: Valores para potencia normalizada [21].

3.1.2 Analizador de gases Bosch

El sistema de análisis de emisiones Bosch representa un sistema de medición móvil, de estructura modular, destinado al análisis de los gases de escape de motores diésel y de gasolina. A través de la base de datos de los vehículos es posible realizar una comparación de valores nominales de todas las magnitudes relevantes para los gases de escape. En la Figura 13 se observa el analizador acoplado a la línea de escape de un vehículo [24].



Figura 13: Analizador de emisiones Bosch BEA 250 [24].

Con el módulo de análisis de gases de escape se miden los componentes de los gases CO, HC, CO₂, O₂ y NO. La razón de aire Lambda se calcula sobre la base de los valores de gas medidos. Corresponde a una muestra de base seca.

Se dispone de los siguientes campos de medición con su respectivo rango:

- (CO) Monóxido de carbono _____ 0 ... 10,00 [% volumen]
- (HC) Hidrocarburos (referidos a hexano) _____ 0 ... 9999 [ppm]
- (CO₂) Dióxido de carbono _____ 0 ... 18 [% volumen]
- (O₂) Oxígeno _____ 0 ... 22 [% volumen]
- (NO) Monóxido de nitrógeno _____ 0 ... 5000 [ppm]
- Razón de aire Lambda _____ 0,500 ... 9,999 [-]

Para la medición de las fracciones de CO, CO₂ y HC se aplica el método infrarrojo no dispersivo (NDIR = espectroscopía de infrarrojo no dispersiva). El oxígeno se determina con un sensor de actuación electroquímica [24].

En la Tabla 3 se presenta la precisión y resolución de las diferentes concentraciones medidas: [24]

Tabla 3: Precisión y resolución de concentraciones de emisiones.

Concentración	Precisión unidad	Resolución
CO	± 0,005 % volumen	0,001 % volumen
CO ₂	± 0,2 % volumen	0,01 % volumen
O ₂	± 0,4 % volumen	0,01
HC	± 12 ppm	1 ppm

3.1.2.1 Funcionamiento y concentraciones

El tiempo de precalentamiento del aparato es de aproximadamente 1 minuto, durante ese tiempo no se puede realizar ninguna medición. Tras conectar la bomba se ajusta automáticamente el punto cero del sistema de análisis con aire ambiente (gas cero). Este proceso dura 30 segundos. Luego sigue la prueba de residuos de HC y a continuación se libera automáticamente la medición.

Una vez iniciada una medición, el analizador realiza automáticamente y a intervalos irregulares un ajuste del cero con aire ambiente. Para el ajuste del cero, el analizador conmuta una válvula electromagnética a aire ambiente, durante 30 segundos es barrida con gas cero. El aire ambiente aspirado es depurado de hidrocarburos por un filtro de carbón activo, si se está realizando en ese momento una medición, el ajuste del cero se retrasa hasta que termina la medición. [24]

3.1.2.2 Cálculo de la relación aire combustible (λ)

En la Ecuación 1 se observa que partir de las concentraciones medidas de HC, CO, CO₂ y oxígeno, el analizador calcula la razón de aire Lambda. Para este cálculo es importante una medición exacta del oxígeno. El cálculo de Lambda y la medición de oxígeno tienen que estar por lo tanto activados.

El valor Lambda se calcula con ayuda de la fórmula de Brettschneider [24]:

$$\lambda = \frac{[CO_2] + \frac{[CO]}{2} + [O_2] + \left(\frac{H_{CV}}{4} * \frac{3,5}{3,5 + \frac{[CO]}{CO_2}} - \frac{[O_{CV}]}{2} \right) * ([CO_2] + [CO])}{\left(1 + \frac{H_{CV}}{4} - \frac{O_{CV}}{2} \right) * ([CO_2] + [CO] + K_1 * [HC])} \quad (1)$$

Donde:

- [] = Concentración en vol, también para HC.
 - K₁ = Factor de conversión para HC, de NDIR (analizador infrarrojo no disperso) a FID (detector de ionización de llama).
 - H_{CV} = Relación de hidrógeno/carbono en el combustible (típico: 1,7261)*.
 - O_{CV} = Relación de oxígeno/carbono en el combustible (típico: 0,0175)*.
- * Dependiente del combustible utilizado. Estos valores pueden ser modificados por el servicio postventa Bosch. El equipo trae de fábrica valores almacenados para gasolina, diésel y GLP.

El analizador de gases de escape está provisto de un captador de valores de medición de O₂. El captador de valores de medición de O₂ se enrosca en la pared posterior del aparato y la medición de oxígeno se ajusta automáticamente con el oxígeno del aire, con un valor de 20,9 y se utiliza para el cálculo de Lambda.

En la Figura 14 se observa la pantalla del equipo analizador de gases. Tanto el indicador de RPM como el de aceite no arrojan valor, puesto que dichos sensores no fueron instalados, para efecto de las mediciones a desarrollar no es necesario conocer su valor.

Se recomienda medir un gas patrón previo a las mediciones para verificar que los valores entregados son correctos. Si algún filtro o sensor dentro del equipo no se encuentra en buenas condiciones entregará una lectura errónea, afectando los valores entregados. Para el caso del indicador de oxígeno, se verifica su correcta calibración si esta entrega valores cercanos a 20-21 % volumen cuando la sonda se encuentra al ambiente.



Figura 14: Pantalla de equipo analizador de gases Bosch BEA 250.

Se recomienda mantener el equipo en ambientes secos y con temperaturas sobre los 18 grados Celsius, esto debido a que si se expone a bajas temperaturas o ambientes húmedos ocurrirá condensación dentro de la sonda, la presencia de agua afecta los filtros y la toma del gas no podrá ser analizada correctamente. En caso de observar una gran cantidad de agua en la sonda, se debe desconectar y eliminar la presencia de agua, además de reemplazar el filtro [24].

3.1.3 Balanza digital

Para medir la masa del estanque externo de combustible se utiliza una balanza digital, en la Figura 15 se observa la balanza, la cual es marca SNOWREX modelo NHV-30. Cuenta con un software que permite almacenar en un documento de texto los valores medidos.



Figura 15: Balanza digital SNOWREX NHV-30. [25]

En la figura 16 se observa el menú de operaciones del software, para comenzar a medir se debe presionar la acción de iniciar ensayo, en donde será directamente redirigido al lugar donde desea guardar los datos medidos, una vez guardado se comienza con la medición y se culmina presionando la cuadrícula terminar ensayo. El documento guardado corresponde a un archivo tipo texto con una tabla con valores.



Figura 16: Software de balanza digital.

El instrumento cuenta con un rango de medición de 0 a 30 kilogramos, mientras que la resolución es de 0,001 kilogramos. Además, posee una precisión de 0,001 kilogramos. [26].

A continuación, se detallan las acciones para llevar a cabo el aumento de potencia y torque desarrollado en el vehículo de prueba. Las modificaciones realizadas para lograr el objetivo general son únicamente en la cartografía que manejan las memorias de la ECU. Se busca poder medir la condición inicial del vehículo y el caso de interés con el archivo modificado, finalmente evaluar el impacto de las emisiones al comparar ambos casos.

El desarrollo de las mediciones comienza con la creación de un estanque externo para el cálculo del consumo de combustible, la obtención de softwares de equipos, el uso de un freno dinamométrico y las medidas de seguridad que se debieron tener en cuenta, los procesos de lectura y escritura del archivo modificado. A continuación, se detallan las acciones realizadas.

Las mediciones se basan prácticamente en 3 pasos fundamentales, el primero de ellos corresponde a la creación de una línea base, en donde se medirán diferentes parámetros con la condición inicial del vehículo, la idea es poder tener valores con los cuales poder comparar y observar los cambios generados. La línea base entonces consta de montar el vehículo sobre el freno dinamométrico de chasis para determinar su potencia máxima (potencia a la rueda, potencia normalizada, potencia de motor y potencia de arrastre) y torque máximo, para ello se realizan 3 pasadas de medición de potencia continua según la instrucción del freno lo indican. Además de la potencia y torque, se realiza un ciclo de conducción europeo (NEDC) que tarda 20 minutos recorriendo cerca de 11 kilómetros en modalidad urbana y extraurbana, se realizan 5 corridas del ciclo de conducción para luego promediar los resultados, a lo largo de todo el ciclo se miden en forma continua el consumo de combustible y emisiones de gases de escape.

Una vez desarrollada las mediciones para la línea base, se procede a extraer el archivo original del vehículo para ser modificado. Luego, sin realizar ningún otro tipo de modificación física en el auto, única y exclusivamente la reprogramación de la ECU, se procede a realizar las pruebas de los mismos parámetros medidos en la línea base. Se debe realizar las mediciones de manera idéntica a la primera vez, para así poder observar los verdaderos cambios producidos. Cabe destacar que, al ser pruebas del tipo dinámicas, se realizan tres ensayos de potencia y cinco ciclos de

conducción por medición, es decir, tres mediciones de potencia y cinco ciclos de conducción con el archivo original y las mismas con el archivo modificado, enterando un total de seis curvas de potencia y torque, y otros diez de consumo de combustible y concentración de gases de escape.

3.2 Medición del consumo de combustible gravimétrico

Para la medición del consumo de combustible se utiliza un estanque externo de combustible con una bomba interna, este estanque se sitúa sobre una balanza digital que cuenta con un software que permite almacenar los datos cada 1 segundo, creando un documento de texto al final de la medición con una tabla con los valores en kilogramos en cada instante de segundo. En la Figura 17 se puede observar el montaje de estos equipos.



Figura 17: Estanque de combustible externo sobre la balanza digital.

Para la creación del estanque de combustible externo se debe adquirir una bomba de combustible idéntica a la utilizada por el modelo del vehículo, con una presión de trabajo de 4 [bar] y una tensión de servicio de 12 [V]. En la Figura 18 se observa la bomba de combustible original Audi, sus principales características es que cuenta con una línea de salida de combustible y una línea de retorno, las direcciones de flujo se observan por las líneas marcadas en la tapa de la bomba. Se debe tener en cuenta que el combustible de salida comienza su recorrido en el succionador (parte inferior de la bomba que se conecta con un filtro), por lo tanto, su ubicación dentro del tanque debe estar lo más cercano a la base del recipiente, con cierta holgura para que no succionar el fondo del estanque donde decantan las impurezas. Para ello se adaptaron unos sensores de alambres impidiendo que por su pequeña masa tendiera a flotar dentro del estanque. Aprovechando que la bomba está fuera del estanque se identifican los conectores para el accionamiento de la bomba, los cuales corresponden a los pines externos del enchufe quienes energizan el motor interno de la bomba, mientras que los internos no fueron utilizados, comúnmente estos son los encargados de llevar la señal de nivel de combustible.



Figura 18: Bomba de combustible original Audi utilizada en estanque de combustible externo.

El acceso a la bomba de combustible del vehículo es por la zona de la maletera. En la Figura 19 se observa que la señal de corriente de accionamiento de bomba se ubica en el enchufe, con pines del tipo hembra, se busca y demarca el positivo y negativo utilizando cables de color rojo y negro respectivamente. Las conexiones deben estar totalmente aisladas debido a la presencia de gasolina en la zona.

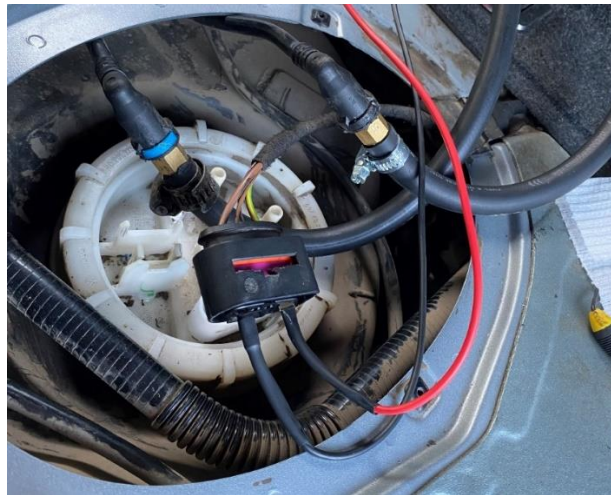


Figura 19: Conexión de corriente y combustible para funcionamiento de bomba.

Para el caso de la conexión de las mangueras de combustibles, se fabrican acoples de bronce, los acoples cuentan con la misma geometría que trae la bomba original del vehículo, para así aprovechar el sistema de acople rápido que cuenta la bomba. Así al momento de realizar las mediciones el cambio es rápido y seguro, sin fugas de combustible. Se fabricaron dos piezas de bronce idénticas, una para la manguera de salida y otra para el retorno. Al momento de realizar el cambio se recomienda dar partida al vehículo con el enchufe de la bomba desconectado, así se consume de manera segura el combustible restante dentro de las líneas de combustible. Al no realizar este paso, la desconexión de las mangueras provocará la filtración del combustible con presión de los acoples rápidos. Los extremos de las líneas de combustible son sujetados con

abrazaderas de alta presión, para asegurar que no existan fugas durante la prueba. Mientras que los extremos de las líneas de corriente son de terminales aislados que además fueron envueltos en cinta aislante. Ambas conexiones son de un largo aproximado de 3 metros, para así poder situar el estanque en una zona segura para una correcta medición.

Por otro lado, se instala el software de la balanza digital en un computador, para almacenar los datos de la medición. Los datos fueron llevados a tablas y posteriormente graficados en Excel.

3.3 Vehículo de prueba.

Las modificaciones y mediciones se llevan a cabo en un vehículo marca Audi modelo A4, corresponde a la generación B7 y trae montado un motor de 4 cilindros de 1.8 litros con turbo-compresor con wastegate interna, además, cuenta con inyección indirecta y posee un total de 20 válvulas con doble árbol de levas. La ficha técnica se puede observar en Tabla 4 [27].

Tabla 4: Ficha técnica Audi A4 B6 1.8 T 20V.

Características motor	Valor
Combustible	Gasolina
Potencia Máxima	150 [CV] / 110 [KW]
Revoluciones potencia máxima	5700 [RPM]
Par máximo	210 [Nm]
Revoluciones par máximo	3300 – 4600 [RPM]
Situación	Delantero longitudinal
Número de cilindros	4
Disposición de los cilindros	En línea
Diámetro	81 [mm]
Carrera	86,4 [mm]
Cilindrada	1781 [cm ³]
Relación de compresión	9,3 a 1
Válvulas por cilindro	5
Tipo de distribución	Dos árboles de leva en la culata
Alimentación	Inyección indirecta. Turbo. Intercooler

Los datos de las prestaciones del motor (potencia, torque, cilindrada) son utilizados al momento de seleccionar el protocolo de comunicación en la herramienta Kess V2. En la Figura 20 se observa el vehículo de prueba utilizado.



Figura 20: vehículo de prueba Audi A4 B6 1.8 T 20V.

Para las pruebas del vehículo en freno se debieron tomar una serie de precauciones, relacionadas con la mantención general del vehículo para no presentar fallas mientras se encuentra sobre los rodillos. En primera instancia se posicionan los mejores neumáticos en el tren delantero junto a una alineación y balanceo, se revisa el estado y niveles de líquido refrigerante y aceite. Finalmente se realiza una inspección buscando fugas de fluidos o pérdidas de presión de aire.

3.4 Herramientas de extracción

La herramienta de comunicación con la computadora del vehículo corresponde a un KESS V2 de la marca ALIENTECH. El equipo se conecta mediante puerto OBD2 como se observa en la Figura 21.



Figura 21: Herramienta de comunicación KESS V2 conectado mediante puerto OBD2.

Una vez culminada las mediciones con línea base, se procede a modificar el archivo original para luego realizar las mismas mediciones con el archivo modificado.

Con ayuda de la ficha técnica del modelo del vehículo se busca el protocolo de comunicación, en la Figura 22 se observa el protocolo seleccionado en el software Ksuite. Una vez seleccionado se debe conectar el puerto OBD2 y realizar la opción chequeo ID, en donde se accede a la ECU y se entregan sus modelos de SW (software) y HW (hardware).

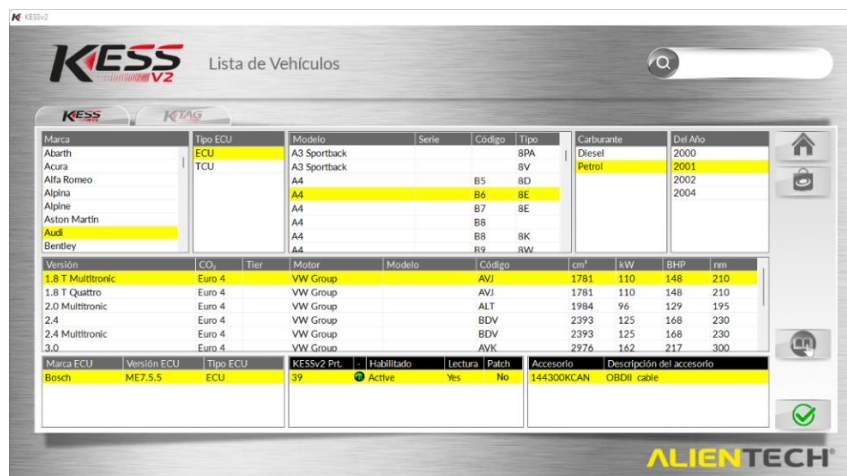


Figura 22: Protocolo de comunicación usado en software KSUITE para el modelo del vehículo de prueba.

En la Figura 23 se observa los valores entregados luego del proceso de chequeo de ID, los valores entregados se deben corroborar con la etiqueta que trae la ECU para asegurar que se seleccionó un protocolo correcto y que la comunicación de la herramienta con la computadora es correcta.

Finalmente, se selecciona la opción lectura, para realizar la lectura el software solicita realizar una serie de pasos para llevar a cabo la acción, los cuales tratan básicamente de dar y quitar contacto al vehículo según se indique. Una vez finalizado el proceso la aplicación solicita seleccionar un lugar donde se guardará el archivo original.



Figura 23: Proceso de chequeo ID para vehículo de prueba.

3.5 Uso del equipo analizador de gases

Para la medición de los gases de escape, se utiliza el analizador de gases marca Bosch modelo BEA 250. Este equipo mide 5 tipos de concentraciones: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos (HC), oxígeno (O₂), óxido nítrico (NO_x), con estos 5 factores calcula la razón de aire lambda.

Para el uso del equipo analizador, se debe seleccionar la opción de motor a gasolina y esperar la calibración que tarda cerca de un minuto. Luego se conecta la sonda al tubo de escape del vehículo, y se debe posicionar la cámara que filmará la pantalla. Los datos son traspasados a tablas para su posterior análisis. En la Figura 24 se observa el analizador acoplado mediante la sonda a la línea de escape del vehículo de pruebas.



Figura 24: Equipo analizador de gases BOSCH BEA 250.

3.6 Uso de freno dinamométrico de chasis

Se utilizó un freno dinamométrico de chasis del departamento de mecánica de la Sede de Viña del Mar de la Universidad Técnica Federico Santa María para realizar las mediciones de potencia y torque, y realizar los ciclos de conducción. Las mediciones de potencia y torque se desarrollaron con el método de potencia continua, el cual entrega los valores de potencia a la rueda, potencia normalizada, potencia de motor, y potencia de arrastre. Los resultados se entregan en tablas según las revoluciones del motor.

En las Figuras 25 y 26 se observa cómo queda amarrado el vehículo, en la parte frontal se usa el gancho de remolque fijando dos eslingas a la estructura soportante del freno. Mientras que, en la parte trasera, se utilizan cadenas fijadas a la estructura de la rampa.

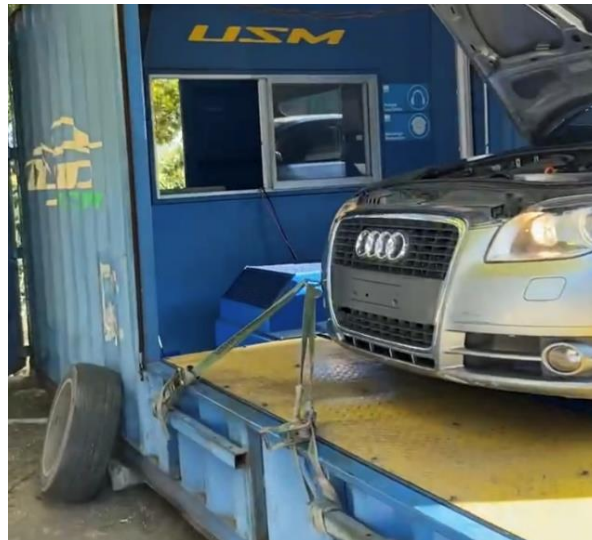


Figura 25: Amarre de vehículo parte frontal sobre freno de rodillos.



Figura 26: Amarre de vehículo parte trasera sobre freno de rodillos.

Cabe destacar que tanto las mediciones con el archivo original como las mediciones con el archivo modificado deben realizarse por un mismo conductor entrenado, así se replica de manera exacta ambas instancias de medición. Nuevamente se destaca que son pruebas del tipo dinámicas, en donde los promedios por ciclo y corridas entregan información verídica del comportamiento del motor.

3.7 Modificación de mapas

Una vez que se obtiene el archivo original, se procede a modificar, para ello se debe cargar el archivo original en la aplicación de edición de mapas. Al cargar el archivo, se debe realizar una búsqueda de drivers para el archivo cargado, se debe seleccionar aquel que describa el modelo específico del vehículo de pruebas. Una vez seleccionado el driver para el modelo de motor, ECU y transmisión se comienza con la modificación de los mapas.

Para efectos de aumento de potencia se modifican 4 mapas principales que están ligados a la operación de este modelo de motor, el primero de ellos corresponde a la posición de la mariposa que regula la entrada de aire en la admisión, el segundo mapa es el encargado de regular la operación de la cantidad de combustible inyectado según la relación aire combustible mediante el factor lambda. Luego el mapa que describe el avance de chispa, que regula cuanto deseamos comprimir la mezcla antes de la activación de la chispa. El cuarto corresponde a la presión con la cual deseamos que opere el turbo compresor encargado de introducir masa de aire en la admisión. Los mapas fueron modificados según el detalle mencionado en la sección 2.7 Cómo modificar mapas.

3.8 Escritura del archivo modificado

Una vez que el archivo original es modificado, está listo para ser escrito en las memorias de la centralita, se deben repetir las mismas acciones realizadas para extraer el archivo original. El protocolo de comunicación queda guardado una vez realizada la lectura.

Los procesos de lectura y escritura de archivos tardan un total de 10 minutos cada uno, por lo tanto, se necesita conectar un equipo mantenedor de baterías. Con este paso se asegura que el vehículo mantendrá el voltaje óptimo de alimentación, asegurando que la computadora cuenta con el voltaje necesario para su encendido.

Una vez escrito el archivo modificado en la ECU del vehículo, se deben repetir las mediciones realizadas para la línea base. Estas mediciones se deben replicar de manera idéntica, sin realizar ningún tipo de modificación en el vehículo ni equipos que puedan alterar los resultados.

4. Resultados y análisis

A continuación, se muestran los resultados de las mediciones desarrolladas, tanto para la línea base como para el caso de estudio. Los parámetros evaluados son consumo de combustible, potencia, torque y emisiones de gases de escape.

4.1 Curvas de potencia y torque.

Los valores luego de la prueba son almacenados como tablas en Excel, estos valores fueron promediados y comparados. Para cada valor de revoluciones existe un valor de potencia normal, momento normal, potencia a la rueda y potencia de arrastre. Por cada prueba de potencia se recopilan un total de 700 datos aproximadamente para los valores de revoluciones, los cuales van en un aumento de 5 revoluciones por minuto. En la Figura 27 se observa los valores graficados para línea base y archivo modificado superpuestos, evidenciando los aumentos logrados.

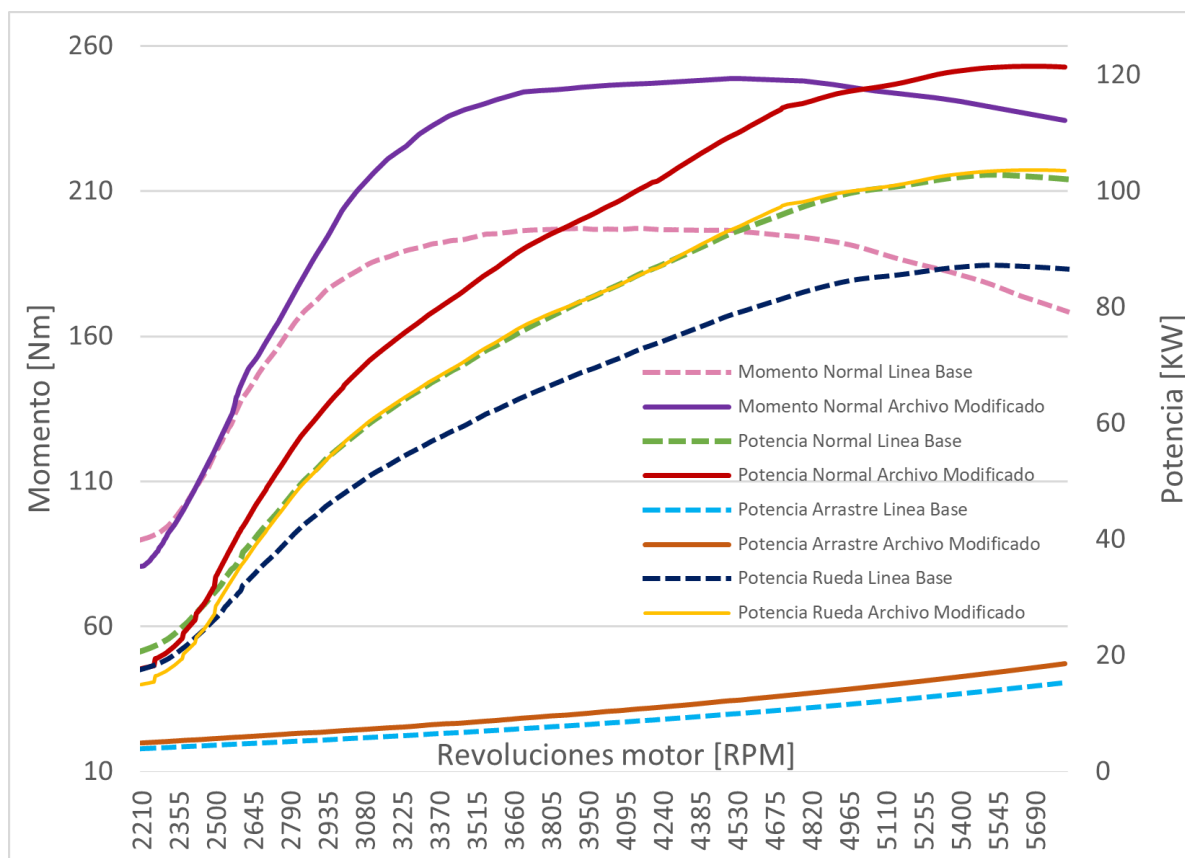


Figura 27: Gráfica promedios potencia y momento para línea base y archivo modificado.

Los valores asociados a la potencia normalizada y momentos normales de la línea base y la condición de archivo modificado fueron superpuestos en un solo gráfico, así se puede observar en la Figura 27 los aumentos existentes entre pruebas.

Se aprecia que para las dos mediciones los valores de potencia de arrastre son similares, lo cual era de esperarse puesto que no se desarrolló ningún otro tipo de modificación, por ende, la pérdida de potencia existente es similar en ambas pruebas. Esta pérdida es cercana al 16 % de la potencia normal, lo cual corresponde a una cifra real de las pérdidas comunes presentes en vehículos con cajas automáticas [28].

Se observa en las imágenes que se logró un aumento en la potencia normal entre la línea base y la medición con el archivo modificado. Se logró pasar de una potencia normal en línea base de 102,795 [KW] a 5520 [RPM] a un promedio de potencia normal de 121,534 [KW] a 5695 [RPM], lo cual se resume en un aumento del 18 % en la potencia del vehículo.

Para el caso del momento o torque también se observa un aumento del valor en el promedio de torque de línea base versus la medición de momento para el archivo modificado. Inicialmente el vehículo arrojó un promedio de 197,261 [Nm] a 4145 [RPM], para luego entregar un valor promedio de torque de 248,824 [Nm] a 4535 [RPM]. Este aumento se resume en un 25 % de torque adicional.

La potencia no aumentó en la misma proporción que el torque, este último posee un 5 % más de aumento. La potencia es función del torque y de las revoluciones del motor, ambos directamente proporcional, se observa que la potencia presenta su pick a altas revoluciones mientras que el torque desarrolla su máximo valor dentro de un rango de RPM.

Con respecto a las desviaciones estándar, esta indica que tan dispersos fueron los valores en sus 3 pruebas para cada condición, al ser valores pequeños nos indica que se mantuvieron dentro de un mismo rango sin resultados dispersos, es decir, valores lejanos al promedio como se observa en la Tabla 5. Al ser pruebas del tipo dinámicas los resultados pueden ser diferentes dentro de una misma condición, la desviación estándar es una medida de apoyo para su análisis.

El vehículo inicialmente entregó valores de potencia y torque por debajo de los valores nominales del vehículo entregados por el fabricante. Cabe recordar que el vehículo cuenta con 110 [KW] de potencia y 210 [Nm] de torque nominales según ficha técnica. La pequeña disminución que se observa es debido a la longevidad del vehículo, cerca de casi 20 años con 210.000 kilómetros recorridos. Se calcula una disminución del 3 % de potencia [29].

Las tablas de valores entregados de potencia y torque para línea base y archivo modificado se encuentran en el Anexo 8.2 de este documento. A continuación, se presenta la Tabla 5 con un resumen de los diferentes valores obtenidos por cada medición, estos valores fueron promediados y graficados para cada valor de las revoluciones.

Tabla 5: Resumen de valores asociados a potencia y torque para pruebas con línea base y archivo modificado

	N°	Potencia Normal [KW]	Potencia Motor [KW]	Potencia a la Rueda [KW]	Potencia de Arrastre [KW]	Revoluciones a Max. Pot. [RPM]	Momento Normal [Nm]	Revoluciones Max. Mom [RPM]
Mediciones Línea Base	1	102,810	106,605	92,271	14,334	5750	195,845	3695
	2	103,649	107,501	93,280	14,221	5520	199,954	4155
	3	102,187	105,985	91,124	14,861	5610	197,135	4250
	Prom.	102,795	106,697	92,225	14,472	5625	197,261	4030
	Desv. Estándar	1,298	0,762	1,246	0,177	115,902	3,759	296,831
Mediciones con Archivo Modificado (REPRO)	1	121,621	126,511	108,378	18,122	5680	245,955	4035
	2	122,801	128,502	110,845	17,655	5870	246,960	4745
	3	124,576	129,585	112,693	16,892	5710	251,587	4120
	Prom.	121,534	128,199	110638	17,556	5750	248,824	4300
	Desv. Estándar	2,117	1,559	2,014	0,211	102,143	8,117	387,717

4.2 Consumo de combustible gravimétrico

El software de la balanza digital entrega los resultados en una tabla, donde almacena el valor que entrega la balanza cada 1 segundo, conteniendo un total de 1200 datos aproximadamente por cada ciclo. Estos datos fueron promediados por segundo muestreado. A continuación, se presenta la Tabla 6 con los valores de las masas iniciales y finales y su respectiva diferencia para el total de ciclos de conducción desarrollados tanto para línea base como el archivo modificado.

Tabla 6: Resumen valores de masas iniciales y finales para línea base y archivo modificado

	N°	Masa inicial [Kg]	Masa final [Kg]	Diferencia [Kg]
Línea Base	1	9,986	9,013	0,973
	2	8,684	7,680	1,004
	3	11,984	10,990	0,994
	4	10,987	10,023	0,964
	5	9,988	9,015	0,973
	Prom	-	-	0,982
	Desv. Estnd.	-	-	0,016
Archivo Modificado	1	11,718	10,792	0,926
	2	10,312	9,391	0,921
	3	9,354	8,446	0,908
	4	6,722	5,811	0,911
	5	5,774	4,861	0,913
	Prom	-	-	0,916
	Desv. Estnd.	-	-	0,007

Se observa en la tabla los valores promediados que existió una disminución en el consumo de combustible gravimétrico por ciclo de conducción desarrollado. En la condición de línea base se

promedió un total de 0,982 [kg] de combustible utilizado con una desviación estándar de 0,016 [-], mientras que para la condición de archivo modificado se promedió un total de 0,916 [kg] de combustible utilizado con una desviación estándar de 0,007 [-], logrando así una disminución del 7 % en el consumo de combustible. Los valores asociados a la desviación estándar son bajos, indicando que los resultados son similares al promedio, sin valores dispersos.

Se conoce el total de metros recorridos en el ciclo, por lo tanto, se calcula un promedio del consumo de combustible por kilómetro recorrido. El ciclo cuenta con un total de 11,016 kilómetros, para la condición de línea base el vehículo poseía un consumo de 0,089 [Kg/Km], mientras que con el archivo modificado se logró un consumo igual a 0,083 [Kg/Km]. Utilizando la densidad de la gasolina se puede expresar el consumo en unidades [Km/l], para línea base corresponde a 8,440 [Km/l] y con el archivo modificado es 9,049 [Km/l] [30].

4.3 Concentración de gases de escape.

A continuación, se presenta la Tabla 7 con los promedios de las emisiones por ciclo para ambas condiciones, con el promedio calculado se podrá analizar si fue en aumento o descenso al comparar la línea base con el archivo modificado. Idealmente es recomendable realizar el análisis con los factores de emisiones, para ello se debe calcular el flujo instantáneo de gases de escape con ayuda de algún equipo como, por ejemplo, un tubo de Pitot, en el desarrollo de este proyecto no se contaba con tal equipo, por lo que el promedio de concentraciones junto a las gráficas de emisiones a lo largo del ciclo permitirá realizar un análisis del comportamiento [31].

Tabla 7: Promedios de concentraciones a lo largo del ciclo de conducción europeo (NEDC) para línea base y archivo modificado.

Concentración de gases	Unidad de medida	Línea Base	Archivo Modificado	Porcentaje % de cambio
Monóxido de Carbono (CO)	% volumen	0,742	0,037	- 95,013 %
Dióxido de Carbono (CO ₂)	% volumen	14,52	15,19	+ 4,60 %
Hidrocarburos (HC)	PPM volumen	67	4	- 94 %
Lambda (λ)	[-]	0,996	1,012	+ 1,606 %
Óxido Nítrico (Nox)	PPM volumen	74	173	+ 132 %
Oxígeno (O ₂)	% volumen	0,27	0,28	- 4,81 %

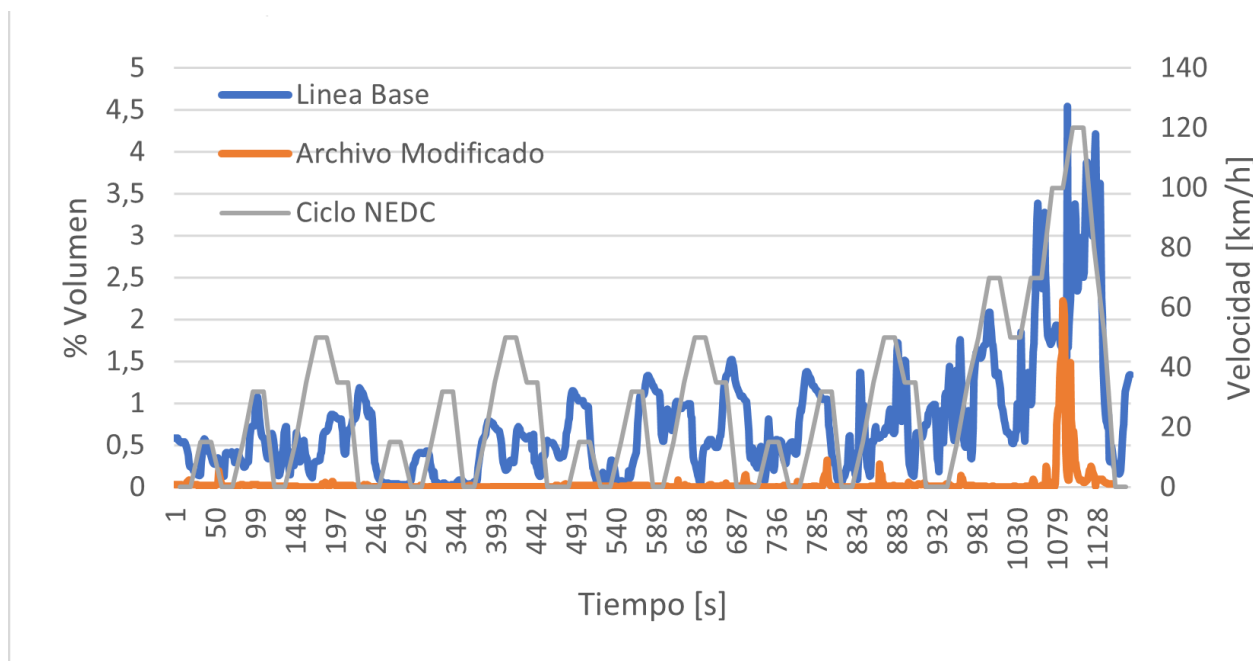


Figura 28: Gráfica promedio de concentración de monóxido de carbono [CO] para línea base y archivo modificado.

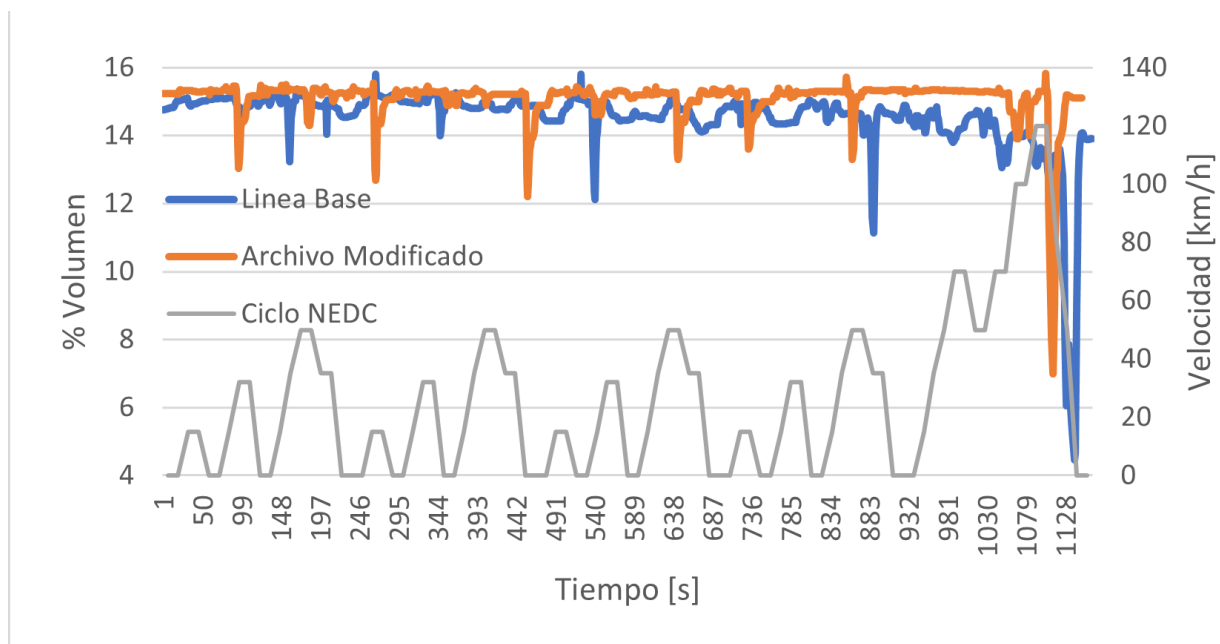


Figura 29: Gráfica promedio de concentración de dióxido de carbono [CO₂] para línea base y archivo modificado.

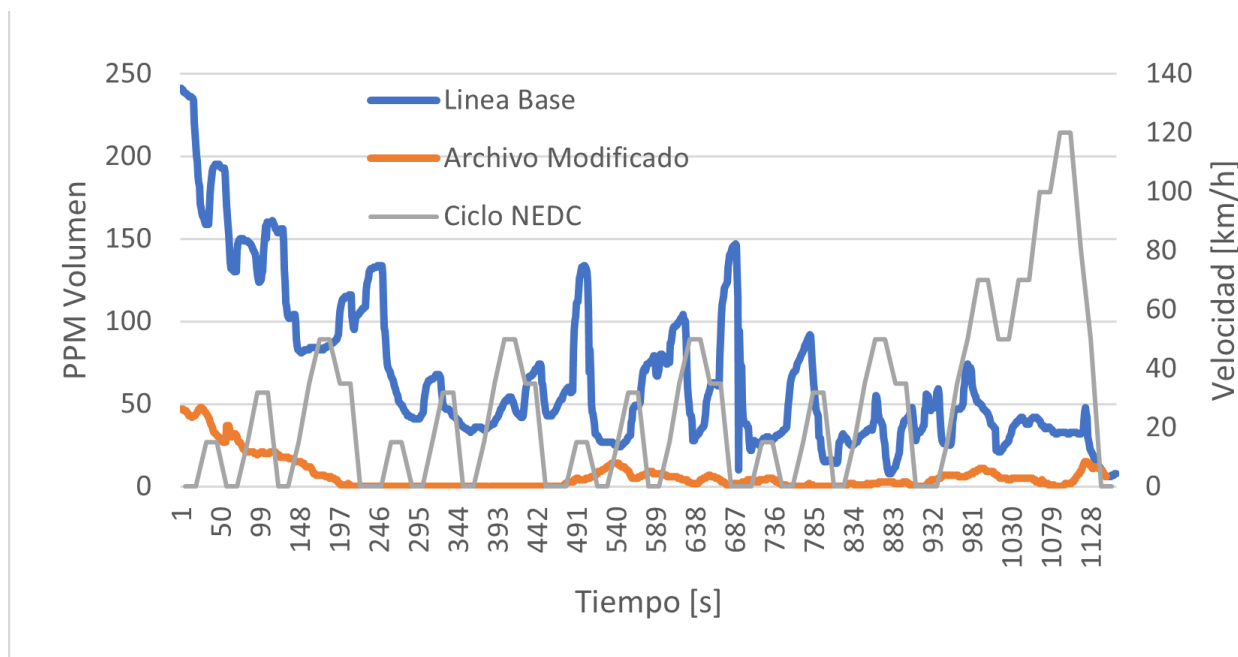


Figura 30: Gráfica promedio de concentración de hidrocarburos (HC) para línea base y archivo modificado.

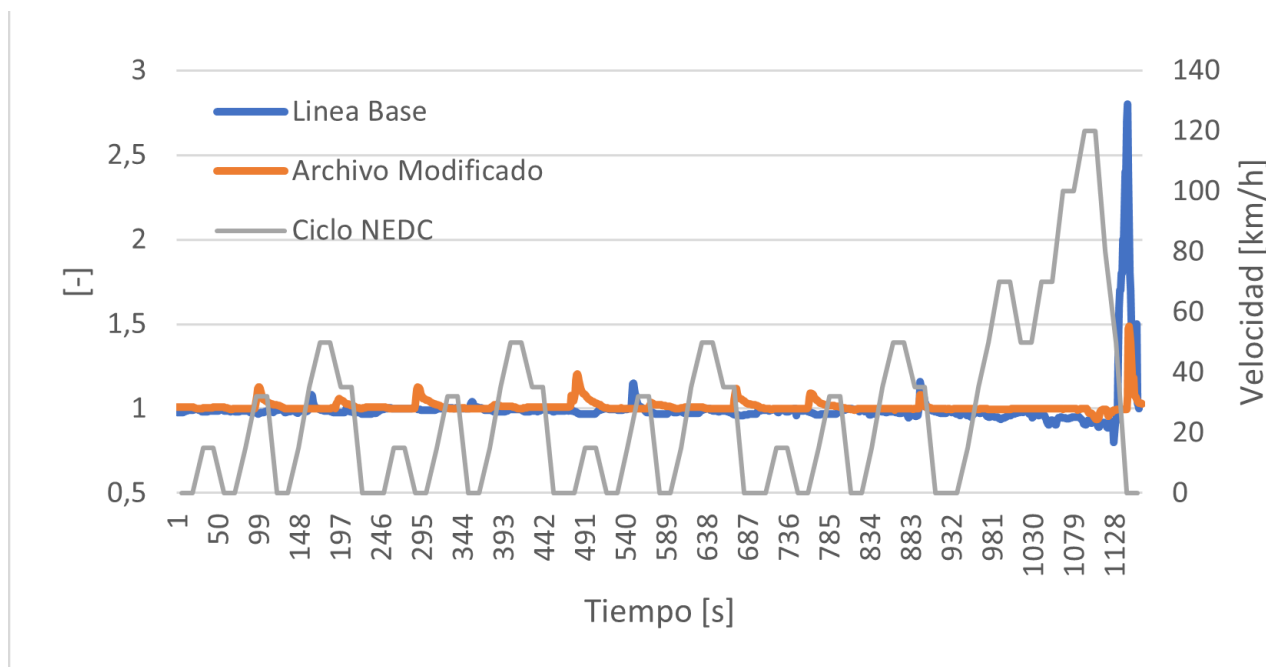


Figura 31: Gráfica promedio de concentración de relación aire combustible según valor lambda línea base y archivo modificado.

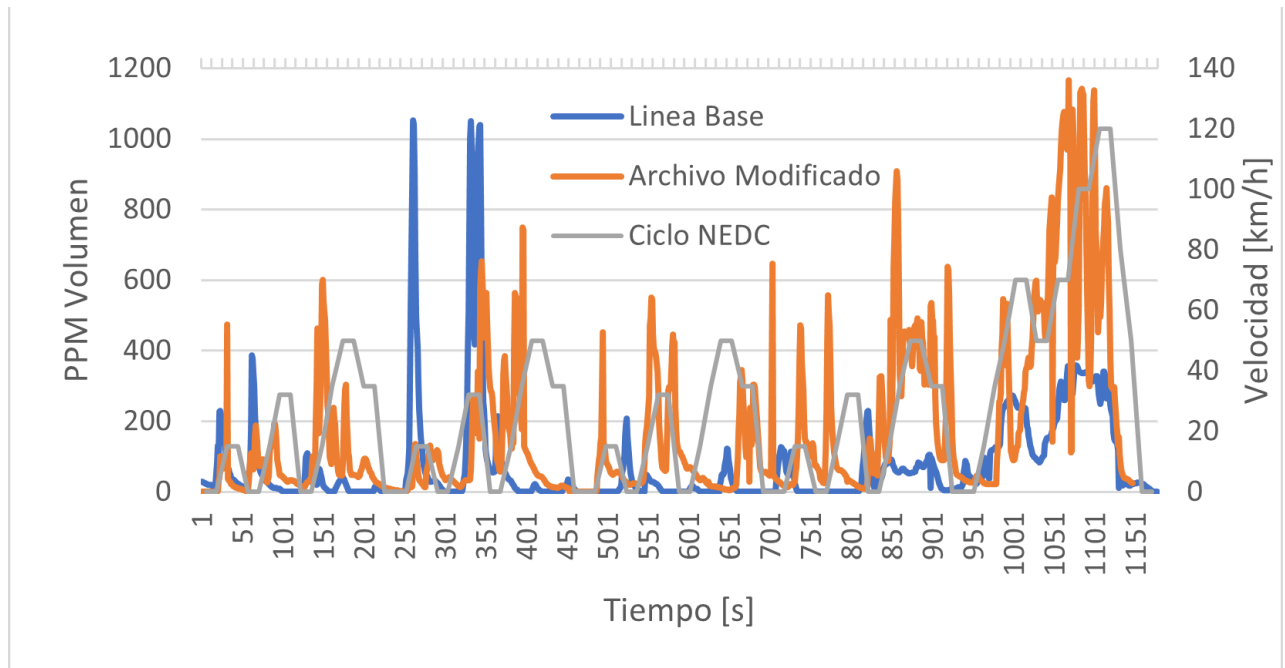


Figura 32: Gráfica promedio de concentración de NOx para línea base y archivo modificado.

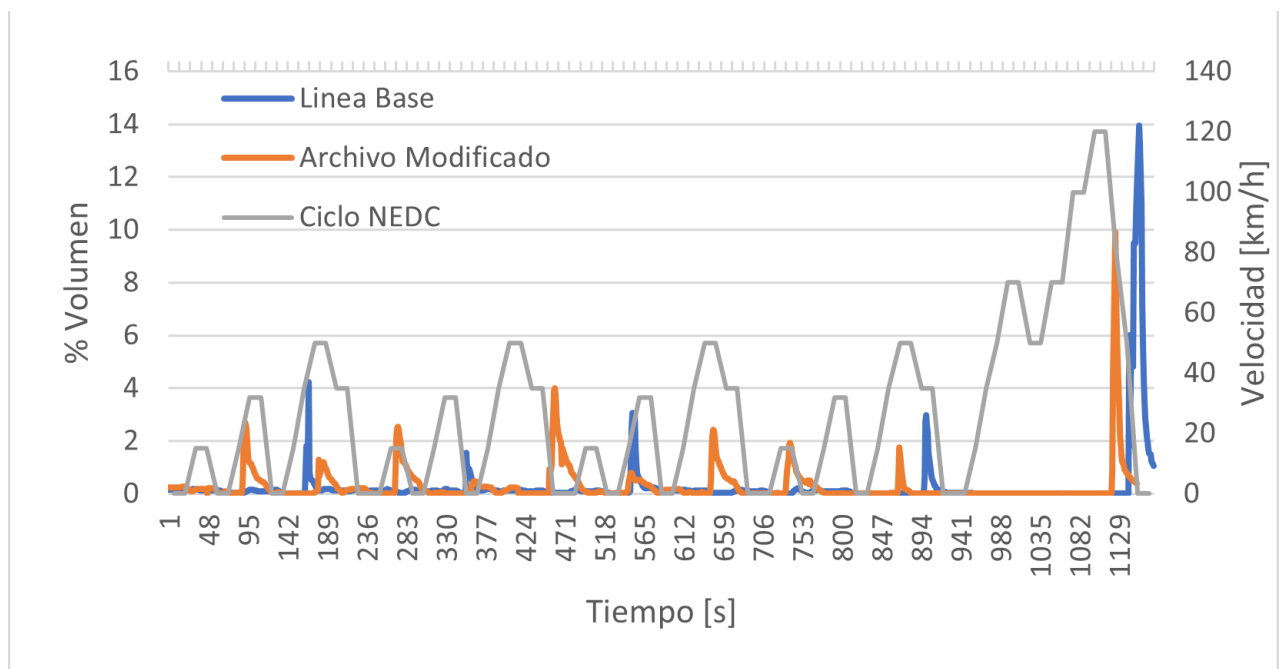


Figura 33: Gráfica promedio de concentración de oxígeno (O2) para línea base y archivo modificado.

Se observa que la combustión mejoró luego de realizar la nueva programación, esto se ve reflejado en la disminución de la concentración de monóxido de carbono, tanto en el gráfico como en la tabla de promedios se observa que la cantidad disminuyó, mientras que la concentración de dióxido de carbono aumentó. La variación de estas concentraciones indica que la combustión mejoró, lo cual junto a la disminución de hidrocarburos se explica que existió un quemado de la gasolina más eficaz, disminuyendo así las cantidades de carbón no combustionada. Se observa en la

Figura 28 que el porcentaje de Volumen de monóxido de carbono aumenta al final del ciclo en comparación con la zona restante para el caso base, debido a que el vehículo es sometido a carga simulando la conducción en carretera. Para el caso en estudio se observa un comportamiento similar, pero más lineal con valores menores a 0,5 en porcentaje de volumen.

Para la situación de línea base se observa una mayor cantidad de hidrocarburos, esto se entiende como una combustión incompleta quedando partículas de gasolina sin ser quemadas. Esto debido a la falta de oxígeno dentro de la cámara, lo cual se vio considerablemente mejorado luego de la programación, puesto que se aumentó la masa de aire que ingresa en cámara mediante el manejo de la presión del turbo. En la Figura 30 se observa una disminución de hidrocarburos en PPM de Volumen en la zona de alta velocidad, se asume que las temperaturas dentro de la cámara aumentan por estar sometido el vehículo a una mayor carga, ayudando para una mejor combustión.

Por otro lado, se observa el gráfico de la relación aire combustible mediante el uso del factor lambda, en donde para la condición de línea base se encuentra siempre debajo del valor estequiométrico ideal. Esto explica que inicialmente el vehículo operaba con una mezcla rica. Luego de la programación se observa en el gráfico que la curva del factor lambda se mantiene prácticamente sobre el valor estequiométrico buscado, indicando así que la combustión es más eficaz, disminuyendo las concentraciones relacionadas por una menor cantidad de combustible no quemado. En la Figura 31 se observa un alza para ambos casos en el valor de lambda, operando con una mezcla pobre al cortar el tiempo de inyección por quitar el pie del acelerador.

Cabe destacar que la nueva programación desarrollada fue teniendo en consideración las concentraciones de gases de escape, si bien el objetivo es buscar un aumento de potencia, este aumento no debe comprometer de manera negativa las emisiones. Esto se puede explicar en el poco aumento de la inyección de gasolina, en su condición inicial el vehículo ya operaba con mezcla rica, se debe entonces compensar este exceso de combustible con un aumento en la presión del turbo y una pequeña disminución de lambda de trabajo, logrando una combustión más eficaz.

Con respecto a los NOx se observa en la Figura 32 que existe un aumento en la concentración, este aumento se evidencia en la zona de conducción en carretera, en donde el vehículo es sometido a una mayor intensidad para alcanzar las velocidades en la prueba como mantener las altas marchas. Por otro lado, la gráfica de la relación aire combustible indica que el caso estudiado posee una mezcla pobre en comparación con la línea base, afectando directamente el aumento en la concentración de NOx. Se debe tener en cuenta la temperatura del proceso de combustión, si bien no fue medida, se espera que opere con una mayor temperatura [32].

Para el oxígeno se observa en la Figura 33 un comportamiento similar con una diferencia de tan solo 0,01 % volumen en el promedio a lo largo del ciclo, esta diferencia se presenta debido al aumento de flujo en los gases de escape, si bien este valor no fue medido, se espera al tener una mayor cantidad de masa de aire dentro de la cámara de combustión.

5. Conclusión

Se midió la condición base del vehículo, encontrando las curvas de operación asociadas a la potencia y momento normalizados, el consumo de combustible y las concentraciones de emisiones de gases. Luego se trabajó el archivo original modificando parámetros de operación del motor, por ejemplo, mapa de presión de turbo, mapa de relación aire combustible, mapa de avance de chispa. Culminando con la medición de los mismos factores con el archivo modificado y analizando los resultados.

En un principio se puede concluir que la línea base del vehículo presenta una pequeña diferencia de un 3% con los valores nominales dictados por el fabricante, esta diferencia se debe principalmente a la cantidad de años y de kilómetros que posee el vehículo de pruebas. A lo largo del tiempo se ha cambiado la operación en cuanto a cantidades de aire y combustible con los cuales opera el motor, lo cual se ve reflejado en la relación aire combustible de la línea base, se observa que el vehículo operaba con una mezcla rica, lo cual se resume en una combustión incompleta de la gasolina afectando así las emisiones. La relación aire combustible con la cual opera el motor en condición inicial es un factor de suma importancia para el desarrollo del archivo modificado.

Una vez culminada las mediciones con el archivo modificado montado en la ECU, se logró el objetivo general del proyecto, en donde se buscaba aumentar la potencia y torque del vehículo, alcanzando un aumento del 18% de la potencia del motor y un aumento del 25% en el torque desarrollado. Se debe tener en cuenta los aumentos logrados por el nuevo consumo de combustible, el cual se vio influenciado de manera positiva, logrando una disminución de un 7% en el consumo de gasolina. Se concluye entonces que se puede mejorar la eficiencia de un motor mediante la modificación de los parámetros de operación almacenados en las memorias de la ECU, aumentando sus prestaciones nominales y disminuyendo el consumo de combustible. Los resultados obtenidos fueron gracias a la modificación desarrollada en los mapas de operación, concluyendo que la combinación de aumento de presión de turbo, avance en el tiempo de encendido, y modificación de la relación aire combustible de operación se pueden lograr aumentos de potencia cercanos al 20%.

Se mejoraron las emisiones de gases de escape debido a la mejora en la combustión desarrollada, al poder alcanzar una quema más eficaz de los gramos de combustible las emisiones reflejaron los resultados obtenidos. Se logró disminuir la cantidad de monóxido de carbono y los hidrocarburos, además de acercarnos al valor estequiométrico ideal para la combustión con la nueva relación aire combustible lograda. Concluyendo así que con el pasar del tiempo los vehículos pierden su condición inicial de operación, la cual puede ser mejorada mediante la reprogramación de la computadora del vehículo.

Al utilizar el software de edición de mapas se nota lo fácil e intuitivo que se transforma la modificación de los parámetros de operación, notando que los resultados deben ser buscados mediante la prueba y error. Al trabajar con reprogramaciones dentro de un margen seguro se pueden obtener aumentos de potencia y torque cercanos al 20% asegurando una operación segura y fiable del motor. Al no contar el software con una opción de optimización de mapas se debe buscar aquel punto ideal en donde se pueda desarrollar el máximo de potencia con el menor consumo de combustible posible.

Una vez conocido el mundo de la reprogramación y los parámetros que se pueden modificar, se nota la gran cantidad de mejoras que se pueden desarrollar en los motores con tan solo acceder a la computadora del vehículo. Desde la modificación de los parámetros para la correcta operación de motores a grandes alturas sobre el nivel del mar hasta la programación para el uso de más de un combustible, como lo son el gas licuado, metanol, entre otros.

6. Trabajos futuros

Los trabajos futuros que nos abre la reprogramación de computadoras, en específico las modificaciones para aumentos de potencia, corresponde al análisis del impacto que se genera en piezas y lubricante al operar el motor con una mayor potencia, es de esperarse que la vida útil se vea influenciada de manera negativa. Debido a esto las empresas dedicadas a reprogramación exigen a los clientes un desarrollo de mantenciones a tiempo según indica el fabricante. Además, el lubricante debe perder sus propiedades a una menor cantidad de kilómetros recorridos.

Por otro lado, es de gran importancia el poder conocer las modificantes optimas que se deban desarrollar al momento de la programación para alcanzar los aumentos máximos capaz de entregar el motor, para ello se debe realizar una reprogramación acompañada de las mediciones en un mismo instante de tiempo, así se pueden cuantificar los resultados obtenidos según las modificaciones desarrolladas, encontrando valores óptimos para cada mapa de operación.

Finalmente, un trabajo futuro de importancia sería desarrollar programaciones para el uso de combustibles duales, como el caso del uso de hidrogeno en la combustión. En donde es necesario variar los tiempos de inyección, presión de turbo, lectura de sensores dentro de la ECU. Así le solicitamos al vehículo parámetros de operación óptimos para la combustión dual.

7. Referencias

- [1] P. C. D. Montesdeoca, «Optimización del vehiuclo Hyundai Getz 1.5 CRDI, mediante la reprogramación de la ECU original via OBDII, para el incremento de la eficiencia del motor en la ciudad de Cuenca,» Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Cuenca Ecuador, 2021.
- [2] A. Medina, «Sensores Automotrices,» Coordinación de Ciencias Computacionales INAOE, Mexico, 2018.
- [3] D. Semante, «Reprogramación de la unidad de control electronica del vehiculo honda SI, para mejorar los parametros caracteristicos del motor de combustion interna serie D16A9,» ESPE Universidad de las fuerzas armadas dpto de ciencias de la energia y mecanica, Latacunga, 2016.
- [4] Senati, «Scribd,» 20 Junio 2016. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/316248394/Tipos-de-Memorias-y-Programacion-de-Computadoras-Automotrices-Ecus#>.
- [5] J. Rodriguez, «Análisis electronico de una unidad de control de motor (ecu) ford-wv tipo eec-iv,» Dialnet, Santo Domingo, 2019.
- [6] J. Sanchez, «Investigacion de los parametros de funcionamiento del sistema de inyeccion de combustible de los vehiculos hyundai para desarrollar la construccion de un banco de pruebas de verificacion de ECU'S,» Espe universidad de las fuerzas armadas dpto de ciencias de la energia y mecanica, Latacunga, 2018.
- [7] F. Manzano, «Diseño y construcción de un banco de pruebas para la emulación de las señales generadas por los sensores empleados en el sistema de inyección electrónica automotriz,» Escuela Politecnica Nacional, Quito, 2017.
- [8] B. Jimenez, «Potenciación electrónica de la ECU del vehículo Hyundai Accent 1.6 tercera generación para optimizar el rendimiento del motor de combustión interna con el modulo K-TAG de lectura BDM,» ESPE Universidad de las fuerzas armadas dpto de ciencias de la energia y mecanica, Latacunga, 2018.
- [9] K. Barreto, «PROGRAMACIÓN DE ECU PARA OPTIMIZACIÓN DE COMBUSTIÓN EN MOTOR G10 DE ACUERDO A LA ALTURA,» UIDE, Quito, 2021.
- [10] D. Cruz, «Programador de tarjetas EEPROM para su reutilización y disminución de impacto ambiental,» Instituto politecnico nacional escuela superior de ingenieria mecanica y electrica Culhuacan, Mexico, 2012.
- [11] W. Yugla, «CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE SENSORES DEL VEHÍCULO CHEVROLET CORSA WIND M.P.F.I. PARA LA CARRERA DE MECÁNICA AUTOMOTRIZ DE LA

UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS,» ESPE Universidad de las fuerzas armadas dpto de ciencias de la energía y mecánica, Latacunga, 2017.

- [12] O. ELM327, «OBD2,» 10 DICIEMBRE 2022. [En línea]. Available: <https://obd2-elm327.es/ubicacion-aspecto-conector-obd2-esquema>.
- [13] Alientech, «Alientech Home,» 10 diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.alientech-tools.com/es/>.
- [14] Revo, «OnlyRevo,» 10 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.onlyrevo.com/>.
- [15] APR, «APR Performance,» 10 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://aprperformance.com/>.
- [16] Unitronic, «Get Unitronic,» 10 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.getunitronic.com/>.
- [17] Kenner, «Kenner Motorsport,» 10 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://kennermotorsport.com/>.
- [18] X. C. S. Developmen, «Xray,» 10 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.xraychipped.com/>.
- [19] Ingezmaq, «Ingezmaq,» 10 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://ingezmaq.cl/>.
- [20] J. Castro, «Auto Avance,» 7 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/eliminar-sistema-dpf/>.
- [21] MAHA, «Banco de ensayo de potencia,» MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG, Haldenwang, 2005.
- [22] T. J. Barlow, «A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions,» Copyright TRL Limited, Saffron Walden, 2009.
- [23] PRT, «PRT Davidson LTDA,» 5 marzo 2023. [En línea]. Available: https://www.prtdavison.cl/seccion_proceso_revision.php.
- [24] Bosch, «Sistema de analisis de emisiones Bosch Instrucciones de manejo,» Robert Bosch GmbH, Alemania, 2003.
- [25] I. Center, «IndustrialCenter,» 23 marzo 2023. [En línea]. Available: http://www.industrialcenter.cl/catalogo/balanza-sobremesa_229/.
- [26] I. C. Tecnica, «ICT SL,» 1 Mayo 2023. [En línea]. Available: <http://www.ictsl.net/productos/01d63694a80f7db0d/021b07980009b1953.html>.

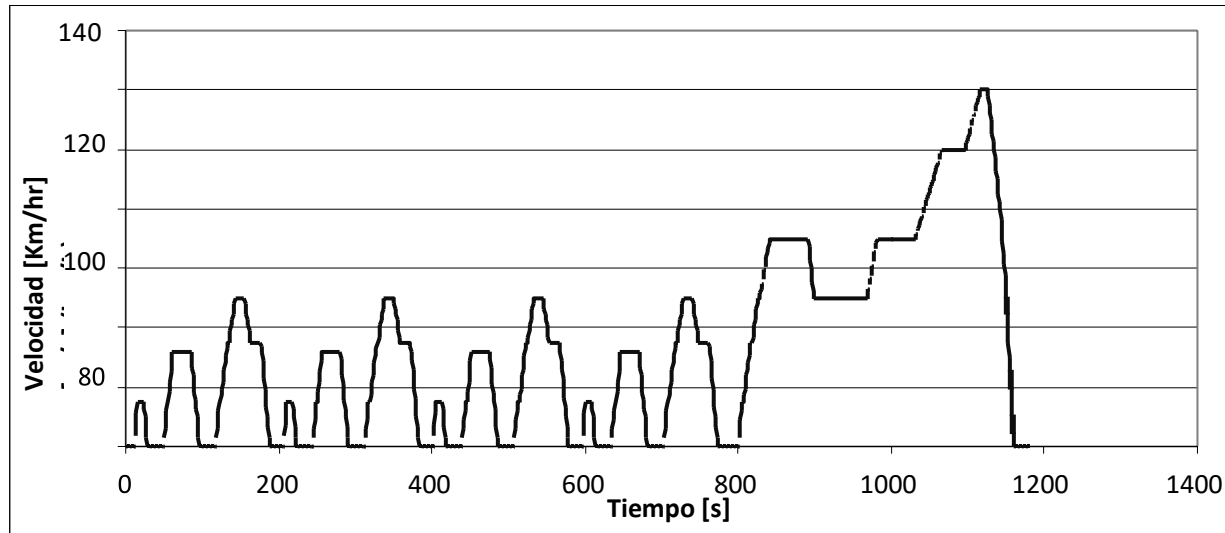
- [27] Km77, «Km77,» 7 marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.km77.com/coches/audi/a4/2001/berlina/estandar/a4-18-t-163-cv/datos/equipamiento>.
- [28] Mitsubishi, «Mitsubishi Motors,» 4 julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.mitsubishi-motors.com.pe/blog/potencia-%09frenado-potencia-rueda/>.
- [29] S. Alvarez, «Diario Motor,» 15 Agosto 2008. [En línea]. Available: <https://www.diariomotor.com/como/averias/perdida-potencia-motor/>.
- [30] BNE, «Informe anual BNE,» División de Políticas y Estudios Energéticos y Ambientales, Santiago, 2019.
- [31] R. Santamaría, «Factores de emisión reales de vehículos livianos y motocicletas para el Valle de Aburrá,» Universidad de Antioquia Grupo de Manejo Eficiente de la Energía, Medellín, 2016.
- [32] D. Banglin, «The effect of air/fuel ratio on the CO and NOx emissions for a twin-spark motorcycle gasoline engine under wide range of operation conditions,» ScienceDirect, China, 2018.
- [33] RODES, «RODES,» 10 SEPTIEMBRE 2020. [En línea]. Available: <https://www.rodes.com/mecanica/centralita-motor-y-su-importancia/>.

8.1 Anexo: Ciclo de conducción NEDC

Nombre del ciclo: New European Driving Cycle (NEDC)

Programa de pruebas: Ciclos legislativos de la UE

Categoría del vehículo: Coches



Arte. Parámetros de KINEMA

Distancia total	11016,63 m	Aceleración negativa media	-0,719 m/s ²
Tiempo total	1180 s	Desviación estándar del acelerado.	0,476 m/s ²
Tiempo de conducción	939 s	Desarrollo estándar de aceleración positiva.	0,243 m/s ²
Tiempo de conducción	458 s	Accel: percentil 75 - 25	0.000 m/s ²
Impulse el tiempo dedicado a acelerar	278 s	Número de aceleraciones	31
Tiempo de conducción dedicado a desacelerar	204 s	Aceleraciones por km	2.814 /km
Tiempo dedicado al frenado	200 s	Número de paradas	14
Tiempo de reposo	241 s	Paradas por km	1,27 /km
% de tiempo conduciendo	79.58 %	Duración media de la parada	17,21 s
% de cruceos	38.81 %	Distancia media entre paradas	786,9 m
% de aceleración del tiempo	23.56 %	Aceleración positiva relativa	0,1113 m/s ²
% de tiempo de desaceleración	17.29 %	Energía cinética positiva	0,224 m/s ²
% de tiempo de frenado	16.95 %	Velocidad positiva relativa	0.286
% de tiempo de pie	20.42 %	Velocidad real relativa	0.840
Velocidad media (viaje)	33,6 km/h	Velocidad cuadrática relativa	17.223 m/s
Velocidad media de conducción	42,24 km/h	Velocidad cuadrática positiva relativa	5.284 m/s
Desviación estándar de la velocidad	28,91 km/h	Velocidad cuadrática real relativa	14.771 m/s
Velocidad: percentil 75 - 25	46,7 km/h	Velocidad cúbica relativa	361,85 m 2/s ²
Velocidad máxima	120,09 km/h	Velocidad cúbica positiva relativa	120,96 m 2/s ²
Aceleración media	0.000 m/s ²	Velocidad cúbica real relativa	311,37 m 2/s

8.2 Anexo: Promedios Potencia y Torque para línea base (Verde) y archivo modificado (Azul).

n	P-Normal	M-Normal	2610	38,0100	139,2261	3025	57,3687	181,2952	3440	69,5288	193,1909	3855	79,4906	197,0693
[U/m			2615	38,2507	139,8381	3030	57,5401	181,5340	3445	69,6395	193,2180	3860	79,6010	197,0870
in]	[kW]	[Nm]	2620	38,4927	140,4531	3035	57,7142	181,7866	3450	69,7528	193,2520	3865	79,7103	197,1023
2210	20,7531	89,7711	2625	38,7375	141,0778	3040	57,8901	182,0409	3455	69,8696	193,2949	3870	79,8193	197,1182
2215	20,8293	89,9012	2630	38,9939	141,7420	3045	58,0680	182,2990	3460	69,9901	193,3467	3875	79,9279	197,1306
2220	20,9119	90,0525	2635	39,2569	142,4289	3050	58,2456	182,5565	3465	70,1155	193,4145	3880	80,0361	197,1439
2225	20,9926	90,1943	2640	39,5209	143,1148	3055	58,4233	182,8122	3470	70,2456	193,4948	3885	80,1450	197,1571
2230	21,0655	90,3058	2645	39,7877	143,8083	3060	58,6052	183,0800	3475	70,3816	193,5880	3890	80,2527	197,1688
2235	21,1434	90,4368	2650	40,0548	144,4994	3065	58,7867	183,3475	3480	70,5217	193,6966	3895	80,3625	197,1842
2240	21,2306	90,6083	2655	40,3288	145,2173	3070	58,9671	183,6114	3485	70,6642	193,8088	3900	80,4741	197,2045
2245	21,3188	90,7809	2660	40,6199	145,9898	3075	59,1486	183,8778	3490	70,8091	193,9275	3905	80,5857	197,2241
2250	21,4079	90,9558	2665	40,9106	146,7584	3080	59,3321	184,1479	3495	70,9520	194,0407	3910	80,6953	197,2388
2255	21,5004	91,1484	2670	41,1776	147,4402	3085	59,5166	184,4207	3500	71,0892	194,1373	3915	80,8035	197,2516
2260	21,5972	91,3546	2675	41,4379	148,0940	3090	59,7025	184,6972	3505	71,2248	194,2286	3920	80,9112	197,2643
2265	21,6947	91,5660	2680	41,6971	148,7431	3095	59,8794	184,9437	3510	71,3649	194,3339	3925	81,0086	197,2504
2270	21,7918	91,7718	2685	41,9578	149,3905	3100	60,0462	185,1603	3515	71,5082	194,4465	3930	81,0995	197,2190
2275	21,8899	91,9823	2690	42,2132	150,0210	3105	60,2134	185,3755	3520	71,6507	194,5586	3935	81,1907	197,1901
2280	21,9890	92,1951	2695	42,4559	150,6044	3110	60,3752	185,5747	3525	71,7916	194,6637	3940	81,2807	197,1566
2285	22,1015	92,4625	2700	42,6936	151,1676	3115	60,5266	185,7435	3530	71,9338	194,7712	3945	81,3689	197,1200
2290	22,2312	92,8028	2705	42,9331	151,7340	3120	60,6833	185,9251	3535	72,0768	194,8826	3950	81,4562	197,0810
2295	22,3613	93,1410	2710	43,1722	152,2990	3125	60,8406	186,1067	3540	72,2207	194,9967	3955	81,5426	197,0423
2300	22,4923	93,4832	2715	43,4110	152,8596	3130	60,9924	186,2729	3545	72,3695	195,1238	3960	81,6298	197,0045
2305	22,6241	93,8255	2720	43,6521	153,4268	3135	61,1346	186,4114	3550	72,5183	195,2455	3965	81,7210	196,9742
2310	22,7548	94,1674	2725	43,8948	153,9948	3140	61,2726	186,5334	3555	72,6371	195,2915	3970	81,8129	196,9464
2315	22,8938	94,5381	2730	44,1378	154,5653	3145	61,4109	186,6595	3560	72,7464	195,3121	3975	81,9100	196,9323
2320	23,0608	95,0200	2735	44,3867	155,1529	3150	61,5538	186,7929	3565	72,8557	195,3283	3980	82,0091	196,9240
2325	23,2321	95,5191	2740	44,6532	155,7976	3155	61,6983	186,9372	3570	72,9632	195,3432	3985	82,1135	196,9268
2330	23,4043	96,0216	2745	44,9273	156,4707	3160	61,8432	187,0749	3575	73,0698	195,3553	3990	82,2195	196,9326
2335	23,5799	96,5362	2750	45,2011	157,1359	3165	61,9849	187,2106	3580	73,1767	195,3675	3995	82,3272	196,9443
2340	23,7618	97,0724	2755	45,4725	157,7924	3170	62,1283	187,3449	3585	73,2836	195,3811	4000	82,4363	196,9590
2345	23,9460	97,6161	2760	45,7436	158,4455	3175	62,2708	187,4817	3590	73,3933	195,3981	4005	82,5461	196,9750
2350	24,1354	98,1837	2765	46,0163	159,1014	3180	62,4164	187,6244	3595	73,5036	195,4188	4010	82,6562	196,9906
2355	24,3419	98,8130	2770	46,2913	159,7625	3185	62,5790	187,8157	3600	73,6187	195,4536	4015	82,7643	197,0036
2360	24,5464	99,4274	2775	46,5646	160,4159	3190	62,7367	187,9945	3605	73,7410	195,5061	4020	82,8727	197,0158
2365	24,7492	100,0398	2780	46,8361	161,0610	3195	62,8910	188,1611	3610	73,8703	195,5794	4025	82,9783	197,0216
2370	24,9501	100,6393	2785	47,1093	161,7102	3200	63,0463	188,3318	3615	74,0061	195,6662	4030	83,0806	197,0186
2375	25,1483	101,2233	2790	47,3860	162,3698	3205	63,2013	188,4979	3620	74,1332	195,7321	4035	83,1782	197,0054
2380	25,3399	101,7844	2795	47,6637	163,0267	3210	63,3542	188,6599	3625	74,2556	195,7836	4040	83,2758	196,9931
2385	25,5335	102,3449	2800	47,9400	163,6825	3215	63,5065	188,8188	3630	74,3750	195,8293	4045	83,3751	196,9843
2390	25,7407	102,9627	2805	48,2137	164,3198	3220	63,6577	188,9748	3635	74,4923	195,8669	4050	83,4749	196,9744
2395	25,9803	103,7033	2810	48,4758	164,9195	3225	63,8057	189,1191	3640	74,6113	195,9104	4055	83,5742	196,9664
2400	26,2202	104,4432	2815	48,7237	165,4697	3230	63,9527	189,2620	3645	74,7335	195,9617	4060	83,6719	196,9552
2405	26,4579	105,1708	2820	48,9679	166,0037	3235	64,0966	189,3934	3650	74,8564	196,0148	4065	83,7720	196,9458
2410	26,6935	105,8888	2825	49,2120	166,5369	3240	64,2405	189,5271	3655	74,9804	196,0706	4070	83,8741	196,9435
2415	26,9285	106,5972	2830	49,4567	167,0677	3245	64,3870	189,6648	3660	75,1071	196,1338	4075	83,9789	196,9472
2420	27,1621	107,3016	2835	49,7015	167,6002	3250	64,5279	189,7895	3665	75,2358	196,2015	4080	84,0823	196,9494
2425	27,3954	107,9998	2840	49,9475	168,1327	3255	64,6681	189,9058	3670	75,3685	196,2793	4085	84,1890	196,9546
2430	27,6288	108,6953	2845	50,1769	168,6067	3260	64,8035	190,0118	3675	75,5002	196,3571	4090	84,2989	196,9727
2435	27,8634	109,3948	2850	50,3946	169,0400	3265	64,9309	190,0947	3680	75,6227	196,4053	4095	84,4119	196,9958
2440	28,0991	110,0937	2855	50,6022	169,4402	3270	65,0641	190,1928	3685	75,7372	196,4371	4100	84,5282	197,0261
2445	28,3354	110,7919	2860	50,8082	169,8321	3275	65,2007	190,3014	3690	75,8495	196,4622	4105	84,6442	197,0569
2450	28,5714	111,4862	2865	51,0147	170,2263	3280	65,3332	190,3967	3695	75,9621	196,4836	4110	84,7609	197,0868
2455	28,8057	112,1731	2870	51,2248	170,6289	3285	65,4627	190,4861	3700	76,0733	196,5074	4115	84,8780	197,1198
2460	29,0507	112,8975	2875	51,4321	171,0202	3290	65,5945	190,5766	3705	76,1870	196,5362	4120	84,9947	197,1518
2465	29,3145	113,2503	2880	51,6353	171,3981	3295	65,7290	190,6772	3710	76,3014	196,5660	4125	85,1163	197,1939
2470	29,5773	114,2272	2885	51,8375	171,7723	3300	65,8669	190,7886	3715	76,4181	196,6010	4130	85,2368	197,2340
2475	29,8392	115,1989	2890	52,0432	172,1521	3305	66,0100	190,9130	3720	76,5370	196,6398	4135	85,3460	197,2478
2480	30,1017	116,1708	2895	52,2591	172,5694	3310	66,1529	191,0382	3725	76,6514	196,6703	4140	85,4531	197,2561
2485	30,3625	117,1435	2900	52,4901	173,0326	3315	66,2957	191,1612	3730	76,7611	196,6881	4145	85,5581	197,2613
2490	30,6220	118,1121	2905	52,7235	173,5019	3320	66,4398	191,2878	3735	76,8719	196,7073	4150	85,6688	197,2603
2495	30,8699	119,0761	2910	52,9614	173,9839	3325	66,5867	191,4221	3740	76,9830	196,7290	4155	85,7634	197,2567
2500	31,1136	120,0450	2915	53,2006	174,4717	3330	66,7339	191,5571	3745	77,0931	196,7462	4160	85,8603	197,2436
2505	31,3709	120,9855	2920	53,4391	174,9541	3335	66,8825	191,6945	3750	77,2028	196,7646	4165	85,9576	197,2292
2510	31,6325	121,4093	2925	53,6766	175,4314	3340	67,0271	191,8227	3755	77,3148	196,7860	4170	86,0524	197,2085
2515	31,8960	122,4273	2930	53,8947	175,8416	3345	67,1633	191,9257	3760	77,4234	196,7994	4175	86,1403	197,1739
2520	32,1570	123,1133	2935	54,0855	176,1613	3350	67,2895	191,9986	3765	77,5248	196,7964	4180	86,2261	197,1359
2525	32,4970	123,8023	2940	54,2739	176,4772	3355	67,4091	192,0529	3770	77,6282	196,7978	4185	86,3154	197,1016
2530	32,8752	124,8219	2945	54,4644	176,7936	3360	67,5271	192,1024	3775	77,7395	196,8173	4190	86,4053	197,0712
2535	33,3198	125,8399	2950	54,6534	177,1071	3365	67,6463	192,1541	3780	77,8508	196,8384	4195	86,4956	197,0427
2540	33,6297	126,5185	2955	54,8387	177,4097	3370	67,7677	192,2139	3785	77,9593	196,8544			

4270	87,9307	196,7924	4585	93,9790	195,8670	4900	98,8516	192,7699	5215	101,2019	185,4252	5530	102,7842	177,5905
4275	88,0301	196,7849	4590	94,0671	195,8369	4905	98,9138	192,6943	5220	101,2362	185,3092	5535	102,7768	177,4182
4280	88,1326	196,7818	4595	94,1511	195,7981	4910	98,9750	192,6194	5225	101,2705	185,1952	5540	102,7705	177,2459
4285	88,2370	196,7854	4600	94,2345	195,7597	4915	99,0373	192,5431	5230	101,3044	185,0808	5545	102,7639	177,0744
4290	88,3407	196,7879	4605	94,3175	195,7191	4920	99,1002	192,4682	5235	101,3397	184,9686	5550	102,7566	176,9031
4295	88,4410	196,7815	4610	94,4002	195,6786	4925	99,1624	192,3929	5240	101,3771	184,8594	5555	102,7482	176,7302
4300	88,5413	196,7752	4615	94,4826	195,6367	4930	99,2233	192,3167	5245	101,4145	184,7513	5560	102,7399	176,5559
4305	88,6420	196,7692	4620	94,5656	195,5962	4935	99,2792	192,2301	5250	101,4519	184,6435	5565	102,7319	176,3824
4310	88,7406	196,7598	4625	94,6479	195,5546	4940	99,3334	192,1397	5255	101,4893	184,5361	5570	102,7229	176,2109
4315	88,8372	196,7456	4630	94,7309	195,5140	4945	99,3865	192,0476	5260	101,5271	184,4293	5575	102,7153	176,0376
4320	88,9326	196,7267	4635	94,8129	195,4742	4950	99,4403	191,9572	5265	101,5658	184,3232	5580	102,7052	175,8626
4325	89,0268	196,7101	4640	94,8963	195,4339	4955	99,4938	191,8668	5270	101,6042	184,2184	5585	102,6924	175,6849
4330	89,1228	196,6941	4645	94,9782	195,3918	4960	99,5469	191,7768	5275	101,6430	184,1130	5590	102,6803	175,5068
4335	89,2237	196,6895	4650	95,0587	195,3459	4965	99,6011	191,6867	5280	101,6804	184,0079	5595	102,6686	175,3298
4340	89,3266	196,6884	4655	95,1389	195,3010	4970	99,6511	191,5901	5285	101,7191	183,9032	5600	102,6568	175,1524
4345	89,4277	196,6844	4660	95,2194	195,2565	4975	99,6954	191,4833	5290	101,7579	183,7977	5605	102,6454	174,9764
4350	89,5282	196,6784	4665	95,2999	195,2120	4980	99,7382	191,3730	5295	101,7949	183,6923	5610	102,6325	174,7989
4355	89,6277	196,6718	4670	95,3804	195,1674	4985	99,7808	191,2621	5300	101,8327	183,5870	5615	102,6213	174,6244
4360	89,7264	196,6618	4675	95,4592	195,1193	4990	99,8233	191,1526	5305	101,8687	183,4799	5620	102,6111	174,4512
4365	89,8242	196,6507	4680	95,5344	195,0641	4995	99,8672	191,0431	5310	101,9047	183,3707	5625	102,6005	174,2784
4370	89,9230	196,6414	4685	95,6117	195,0162	5000	99,9084	190,9315	5315	101,9407	183,2622	5630	102,5903	174,1058
4375	90,0249	196,6389	4690	95,6962	194,9790	5005	99,9461	190,8129	5320	101,9757	183,1534	5635	102,5704	173,9177
4380	90,1268	196,6374	4695	95,7815	194,9457	5010	99,9803	190,6861	5325	102,0084	183,0396	5640	102,5582	173,7734
4385	90,2279	196,6321	4700	95,8674	194,9113	5015	100,0122	190,5580	5330	102,0390	182,9231	5645	102,5453	173,6295
4390	90,3277	196,6260	4705	95,9530	194,8779	5020	100,0447	190,4298	5335	102,0697	182,8066	5650	102,5318	173,4842
4395	90,4288	196,6214	4710	96,0382	194,8439	5025	100,0773	190,3020	5340	102,0997	182,6890	5655	102,5186	173,3389
4400	90,5276	196,6145	4715	96,1242	194,8105	5030	100,1092	190,1746	5345	102,1289	182,5705	5660	102,5053	173,1939
4405	90,6268	196,6050	4720	96,2084	194,7741	5035	100,1424	190,0475	5350	102,1596	182,4529	5665	102,4918	173,0486
4410	90,7260	196,5961	4725	96,2912	194,7359	5040	100,1732	189,9162	5355	102,1889	182,3357	5670	102,4789	172,9037
4415	90,8249	196,5886	4730	96,3744	194,6981	5045	100,1999	189,7815	5360	102,2175	182,2155	5675	102,4654	172,7587
4420	90,9296	196,5919	4735	96,4565	194,6599	5050	100,2287	189,6461	5365	102,2428	182,0910	5680	102,4518	172,6138
4425	91,0337	196,5951	4740	96,5403	194,6220	5055	100,2574	189,5120	5370	102,2670	181,9640	5685	102,4379	172,4681
4430	91,1391	196,6005	4745	96,6239	194,5845	5060	100,2848	189,3769	5375	102,2888	181,8343	5690	102,4240	172,3228
4435	91,2446	196,6051	4750	96,7060	194,5447	5065	100,3135	189,2439	5380	102,3103	181,7039	5695	102,4105	172,1779
4440	91,3520	196,6147	4755	96,7862	194,5022	5070	100,3412	189,1092	5385	102,3328	181,5738	5700	102,3966	172,0326
4445	91,4614	196,6287	4760	96,8660	194,4569	5075	100,3679	188,9720	5390	102,3539	181,4444	5705	102,3827	171,8876
4450	91,5705	196,6413	4765	96,9447	194,4109	5080	100,3910	188,8309	5395	102,3754	181,3127	5710	102,3678	171,7400
4455	91,6772	196,6498	4770	97,0242	194,3663	5085	100,4163	188,6919	5400	102,3970	181,1844	5715	102,3520	171,5917
4460	91,7821	196,6541	4775	97,1033	194,3210	5090	100,4415	188,5535	5405	102,4203	181,0583	5720	102,3364	171,4434
4465	91,8871	196,6581	4780	97,1831	194,2761	5095	100,4657	188,4145	5410	102,4439	180,9321	5725	102,3205	171,2954
4470	91,9913	196,6615	4785	97,2618	194,2308	5100	100,4909	188,2761	5415	102,4671	180,8056	5730	102,3047	171,1475
4475	92,0946	196,6612	4790	97,3389	194,1821	5105	100,5164	188,1392	5420	102,4904	180,6801	5735	102,2884	170,9988
4480	92,1939	196,6549	4795	97,4125	194,1266	5110	100,5423	188,0025	5425	102,5140	180,5553	5740	102,2719	170,8495
4485	92,2936	196,6469	4800	97,4837	194,0665	5115	100,5679	187,8679	5430	102,5376	180,4295	5745	102,2553	170,7006
4490	92,3894	196,6323	4805	97,5566	194,0068	5120	100,5955	187,7350	5435	102,5598	180,3022	5750	102,2388	170,5516
4495	92,4821	196,6099	4810	97,6282	193,9488	5125	100,6231	187,6024	5440	102,5820	180,1753	5755	102,2222	170,4027
4500	92,5749	196,5885	4815	97,6994	193,8897	5130	100,6499	187,4712	5445	102,6043	180,0488	5760	102,2057	170,2537
4505	92,6656	196,5631	4820	97,7716	193,8306	5135	100,6779	187,3400	5450	102,6258	179,9222	5765	102,1888	170,1044
4510	92,7564	196,5373	4825	97,8438	193,7719	5140	100,7072	187,2115	5455	102,6480	179,7953	5770	102,1709	169,9534
4515	92,8469	196,5086	4830	97,9143	193,7104	5145	100,7361	187,0851	5460	102,6668	179,6651	5775	102,1527	169,8025
4520	92,9336	196,4765	4835	97,9853	193,6504	5150	100,7658	186,9584	5465	102,6822	179,5265	5780	102,1352	169,6515
4525	93,0092	196,4184	4840	98,0557	193,5897	5155	100,7975	186,8354	5470	102,6982	179,3900	5785	102,1169	169,5009
4530	93,0834	196,3579	4845	98,1268	193,5293	5160	100,8295	186,7140	5475	102,7136	179,2528	5790	102,0987	169,3503
4535	93,1567	196,2964	4850	98,1975	193,4700	5165	100,8618	186,5926	5480	102,7290	179,1163	5795	102,0808	169,1993
4540	93,2312	196,2376	4855	98,2686	193,4104	5170	100,8955	186,4723	5485	102,7457	178,9809	5800	102,0616	169,0470
4545	93,3078	196,1825	4860	98,3393	193,3490	5175	100,9278	186,3530	5490	102,7570	178,8393	5805	102,0427	168,8950
4550	93,3851	196,1277	4865	98,4049	193,2798	5180	100,9605	186,2340	5495	102,7648	178,6884	5810	102,0239	168,7431
4555	93,4650	196,0792	4870	98,4688	193,2058	5185	100,9942	186,1158	5500	102,7709	178,5375	5815	102,0047	168,5911
4560	93,5459	196,0348	4875	98,5324	193,1335	5190	101,0276	185,9968	5505	102,7784	178,3880			
4565	93,6285	195,9930	4880	98,5966	193,0599	5195	101,0626	185,8832	5510	102,7855	178,2378			
4570	93,7148	195,9592	4885	98,6598	192,9873	5200	101,0983	185,7703	5515	102,7917	178,0890			
4575	93,8022	195,9277	4890	98,7241	192,9150	5205	101,1343	185,6570	5520	102,7957	177,9329			
4580	93,8899	195,8972	4895	98,7876	192,8424	5210	101,1683	185,5409	5525	102,7904	177,7634			

n	P-	M-	2310	20,4654	91,2667	2425	27,1641	108,4108	2540	36,8313	128,8898	2655	45,8076	152,0296
	Normal	Normal	2315	20,6465	92,1848	2430	27,4419	109,2613	2545	37,2503	129,8266	2660	46,1507	152,6475
[U/min]	[kW]	[Nm]	2320	20,8308	92,7804	2435	27,7227	110,1188	2550	37,7080	130,7582	2665	46,4854	153,2971
2210	17,6612	80,7800	2325	21,0125	93,3628	2440	28,0043	110,9768	2555	38,0769	131,6926	2670	46,8193	154,0310
2215	17,7220	80,8841	2330	21,1932	93,9382	2445	28,2866	111,8305	2560	38,5143	132,6222	2675	47,1529	154,8234
2220	17,7764	80,9511	2335	21,3735	94,5099	2450	28,5685	112,6826	2565	38,9051	133,5333	2680	47,4856	155,6011
2225	17,8254	81,3320	2340	21,5589	95,1026	2455	28,8586	113,5569	2570	39,3263	135,1170	2685	47,8191	156,3719
2230	17,8708	81,6937	2345	21,7776	95,8297	2460	29,1967	114,4233	2575	39,7214	136,6909	2690	48,1542	157,1406
2235	17,9157	82,0531	2350	21,9980	96,5581	2465	29,5492	115,2780	2580	40,1540	138,9289	2695	48,4825	157,8854
2240	17,9660	82,4317	2355	22,2191	97,2929	2470	29,9232	116,1330	2585	40,5444	139,8018	2700	48,9447	158,6141
2245	18,0253	82,8579	2360	22,4442	98,0339	2475	30,3118	116,9946	2590	41,0200	141,3464	2705	49,2700	159,3403
2250	18,0892	83,5306	2365	22,6724	98,7890	2480	30,7353	117,8520	2595	41,3273	142,4841	2710	49,6023	160,0715
2255	18,1489	84,0374	2370	22,8962	99,5197	2485	31,0762	118,6976	2600	41,7787	143,5047	2715	49,9437	160,8089
2260	18,2076	84,4778	2375	23,8180	100,2579	2490	31,5093	119,5441	2605	42,0741	144,5258	2720	50,2874	161,5438
2265	19,3743	85,0661	2380	24,0695	101,0711	2495	31,8683	120,4671	2610	42,4177	145,4798	2725	50,6319	162,2765
2270	19,4489	85,6621	2385	24,3233	101,8862	2500	33,4273	121,4161	2615	42,7580	146,4828	2730	50,9819	163,0062
2275	19,5467	86,0554	2390	24,5781	102,7012	2505	33,8490	122,3606	2620	43,1217	147,4028	2735	51,3204	163,6946
2280	19,6705	87,1307	2395	24,8304	103,5070	2510	34,2971	123,3005	2625	43,5054	148,3874	2740	51,6461	164,3574
2285	19,7943	87,6122	2400	25,0816	104,3058	2515	34,7004	124,2406	2630	43,8882	149,1736	2745	51,9723	165,0999
2290	19,9194	88,2421	2405	25,3308	105,0880	2520	35,1621	125,1772	2635	44,2726	149,7436	2750	52,2976	165,9070
2295	20,0438	88,8503	2410	25,5800	105,8703	2525	35,5699	126,1100	2640	44,6578	150,3110	2755	52,6300	166,7114
2300	20,1673	89,8396	2415	25,8434	106,7151	2530	36,0025	127,0247	2645	45,0410	150,8769	2760	52,9703	167,5148
2305	20,2955	90,4364	2420	26,1086	107,5599	2535	36,4134	127,9393	2650	45,4243	151,4468	2765	53,3130	168,3223

2770	53,6569	169,1298	3210	74,7314	223,6470	3650	88,6156	242,9598	4090	98,8029	246,7597	4530	109,9855	248,8183
2775	54,0015	169,9345	3215	74,9035	223,9463	3655	88,7784	243,0874	4095	98,9337	246,7787	4535	110,0968	248,8247
2780	54,3478	170,7370	3220	75,0727	224,2438	3660	88,9470	243,2150	4100	99,0650	246,7977	4540	110,2097	248,8078
2785	54,6936	171,5316	3225	75,2399	224,5406	3665	89,1149	243,3432	4105	99,1954	246,8166	4545	110,3289	248,7909
2790	55,0386	172,3230	3230	75,4123	224,8367	3670	89,2692	243,4707	4110	99,3271	246,8363	4550	110,4520	248,7739
2795	55,3746	173,1194	3235	75,5874	225,1322	3675	89,4148	243,5983	4115	99,4571	246,8559	4555	110,5759	248,7570
2800	55,6980	173,9220	3240	75,7511	225,4309	3680	89,5565	243,7259	4120	99,5868	246,8755	4560	110,7037	248,7401
2805	56,0186	174,7221	3245	75,9101	225,7944	3685	89,6973	243,8534	4125	99,7153	246,8951	4565	110,8323	248,7232
2810	56,3397	175,5245	3250	76,0690	226,2079	3690	89,8370	243,9816	4130	99,8422	246,9154	4570	110,9617	248,7063
2815	56,6619	176,3299	3255	76,2283	226,6252	3695	89,9740	244,1092	4135	99,9696	246,9356	4575	111,0927	248,6894
2820	56,9844	177,1250	3260	76,3856	227,0418	3700	90,1113	244,2092	4140	100,0929	246,9559	4580	111,2213	248,6725
2825	57,3038	177,9019	3265	76,5476	227,4566	3705	90,2490	244,2455	4145	100,2143	246,9736	4585	111,3421	248,6556
2830	57,6201	178,6772	3270	76,7065	227,8707	3710	90,3791	244,2811	4150	100,3282	246,9900	4590	111,4612	248,6387
2835	57,9069	179,4554	3275	76,8626	228,2790	3715	90,5073	244,3174	4155	100,4429	247,0064	4595	111,5812	248,6218
2840	58,1737	180,2346	3280	77,0199	228,6797	3720	90,6255	244,3537	4160	100,5568	247,0228	4600	111,7004	248,6049
2845	58,4382	181,0110	3285	77,1835	229,0797	3725	90,7434	244,3900	4165	100,6706	247,0398	4605	111,8203	248,5879
2850	58,7010	181,7842	3290	77,3534	229,4790	3730	90,8601	244,4269	4170	100,7845	247,0569	4610	111,9403	248,5710
2855	58,9646	182,5625	3295	77,5190	229,8207	3735	90,9780	244,4632	4175	100,9000	247,0746	4615	112,0603	248,5541
2860	59,2262	183,3418	3300	77,6830	230,1079	3740	91,0979	244,5001	4180	101,0170	247,0916	4620	112,1802	248,5372
2865	59,4855	184,1157	3305	77,8517	230,3893	3745	91,2204	244,5377	4185	101,1353	247,1093	4625	112,2994	248,5203
2870	59,7431	184,8867	3310	78,0249	230,6784	3750	91,3347	244,5746	4190	101,2594	247,1264	4630	112,4217	248,5034
2875	59,9984	185,6541	3315	78,1984	230,9669	3755	91,4469	244,6121	4195	101,3848	247,1530	4635	112,5456	248,4865
2880	60,2538	186,4064	3320	78,3711	231,2547	3760	91,5607	244,6459	4200	101,5169	247,1797	4640	112,6711	248,4696
2885	60,5201	187,1475	3325	78,5438	231,5425	3765	91,6797	244,6712	4205	101,5653	247,2064	4645	112,7958	248,4527
2890	60,7911	187,8858	3330	78,7087	231,8290	3770	91,8022	244,6947	4210	101,6161	247,2330	4650	112,9212	248,4358
2895	61,0629	188,6165	3335	78,8616	232,1079	3775	91,9232	244,7182	4215	101,6669	247,2597	4655	113,0467	248,4188
2900	61,3271	189,3120	3340	79,0075	232,3784	3780	92,0445	244,7416	4220	101,7580	247,2864	4660	113,1722	248,4019
2905	61,5960	190,0113	3345	79,1510	232,6463	3785	92,1578	244,7657	4225	101,8937	247,3130	4665	113,2921	248,3850
2910	61,8668	190,7082	3350	79,2954	232,9143	3790	92,2700	244,7898	4230	102,0322	247,3397	4670	113,4050	248,3681
2915	62,1369	191,4217	3355	79,4416	233,1784	3795	92,3809	244,8139	4235	102,1706	247,3664	4675	113,5163	248,3512
2920	62,4070	192,1436	3360	79,5875	233,4303	3800	92,4923	244,8387	4240	102,3127	247,3930	4680	113,6284	248,3343
2925	62,6728	192,8662	3365	79,7370	233,6810	3805	92,6017	244,8634	4245	102,4572	247,4197	4685	113,7405	248,3174
2930	62,9339	193,5895	3370	79,8864	233,9374	3810	92,7099	244,8882	4250	102,5969	247,4464	4690	113,8526	248,3005
2935	63,1981	194,3094	3375	80,0374	234,2015	3815	92,8149	244,9136	4255	102,7371	247,4730	4695	113,9640	248,2836
2940	63,4590	195,0393	3380	80,1948	234,4656	3820	92,9184	244,9383	4260	102,8761	247,4997	4700	114,0761	248,2667
2945	63,7141	195,8250	3385	80,3466	234,7290	3825	93,0198	244,9727	4265	103,0182	247,5264	4705	114,1363	248,2497
2950	63,9628	196,6214	3390	80,4976	234,9925	3830	93,1208	245,0083	4270	103,1662	247,5530	4710	114,2420	248,2328
2955	64,2119	197,4138	3395	80,6462	235,2534	3835	93,2207	245,0446	4275	103,3185	247,5797	4715	114,4971	248,2159
2960	64,4623	198,2043	3400	80,7902	235,5053	3840	93,3194	245,0809	4280	103,4684	247,6064	4720	114,5740	248,1990
2965	64,7086	198,9922	3405	80,9353	235,7496	3845	93,4200	245,1178	4285	103,6171	247,6330	4725	114,6578	248,1821
2970	64,9417	199,7893	3410	81,0908	235,9771	3850	93,5203	245,1541	4290	103,7623	247,6597	4730	114,6948	248,1652
2975	65,1697	200,5932	3415	81,2461	236,1649	3855	93,6213	245,1910	4295	103,9087	247,6864	4735	114,7453	248,1483
2980	65,4017	201,3971	3420	81,3894	236,3374	3860	93,7247	245,2279	4300	104,0535	247,7130	4740	114,7755	248,1314
2985	65,6395	202,2040	3425	81,5336	236,5105	3865	93,8269	245,2648	4305	104,1936	247,7397	4745	114,8125	248,1145
2990	65,8703	203,0024	3430	81,6786	236,6823	3870	93,9335	245,3024	4310	104,3290	247,7664	4750	114,8495	248,0976
2995	66,1007	203,6784	3435	81,8243	236,8611	3875	94,0413	245,3400	4315	104,4635	247,7930	4755	114,8865	248,0807
3000	66,5216	204,3116	3440	81,9717	237,0412	3880	94,1518	245,3852	4320	104,5993	247,8197	4760	114,9302	248,0637
3005	66,7526	204,8975	3445	82,1206	237,2214	3885	94,2670	245,4324	4325	104,7362	247,8464	4765	114,9605	248,0468
3010	66,9813	205,4815	3450	82,2747	237,4002	3890	94,3799	245,4796	4330	104,8752	247,8730	4770	114,9975	248,0299
3015	67,2017	206,0642	3455	82,4343	237,5797	3895	94,4861	245,5268	4335	105,0133	247,8997	4775	115,0344	248,0130
3020	67,4220	206,6450	3460	82,5963	237,7566	3900	94,5927	245,5739	4340	105,1514	247,9264	4780	115,0647	247,9961
3025	67,6388	207,2245	3465	82,7654	237,9278	3905	94,7004	245,6218	4345	105,2876	247,9530	4785	115,1046	247,9792
3030	67,8567	207,8001	3470	82,9345	238,0964	3910	94,8137	245,6689	4350	105,4234	247,9797	4790	115,1663	247,9623
3035	68,0759	208,3738	3475	83,1044	238,2342	3915	94,9242	245,7168	4355	105,5572	248,0064	4795	115,2287	247,9087
3040	68,2926	208,9456	3480	83,2735	238,3624	3920	95,0304	245,7652	4360	105,6930	248,0330	4800	115,2912	247,8551
3045	68,5058	209,5161	3485	83,4442	238,4893	3925	95,1357	245,8111	4365	105,8319	248,0597	4805	115,3528	247,8016
3050	68,7174	210,0700	3490	83,6153	238,6169	3930	95,2336	245,8455	4370	105,9724	248,0864	4810	115,4153	247,7480
3055	68,9298	210,5649	3495	83,7852	238,7451	3935	95,3323	245,8760	4375	106,1130	248,1130	4815	115,4777	247,6944
3060	69,1430	211,0501	3500	83,9543	238,8765	3940	95,4302	245,9071	4380	106,2555	248,1397	4820	115,5425	247,6408
3065	69,3558	211,5315	3505	84,1210	239,0079	3945	95,5308	245,9383	4385	106,3976	248,1664	4825	115,6120	247,5872
3070	69,5702	212,0110	3510	84,2862	239,1393	3950	95,6311	245,9695	4390	106,5326	248,1930	4830	115,6815	247,5337
3075	69,7873	212,4899	3515	84,4505	239,2707	3955	95,7397	246,0006	4395	106,6660	248,2197	4835	115,7510	247,4801
3080	70,0033	212,9668	3520	84,6165	239,4015	3960	95,8514	246,0318	4400	106,7939	248,2464	4840	115,8212	247,4265
3085	70,2196	213,4424	3525	84,7808	239,5323	3965	95,9603	246,0636	4405	106,9225	248,2730	4845	115,8907	247,3729
3090	70,4347	213,9181	3530	84,9464	239,6688	3970	96,0697	246,0954	4410	107,0520	248,2997	4850	115,9610	247,3194
3095	70,6506	214,4021	3535	85,1147	239,8066	3975	96,1798	246,1278	4415	107,1803	248,3264	4855	116,0258	247,2658
3100	70,8555	214,8956	3540	85,2783	239,9470	3980	96,2939	246,1596	4420	107,3097	248,3530	4860	116,0882	247,2122
3105	71,0403	215,3867	3545	85,4311	240,0893	3985	96,4076	246,1914	4425	107,4395	248,3797	4865	116,1499	247,1586
3110	71,2246	215,8687	3550	85,5741	240,2310	3990	96,5268	246,2238	4430	107,5753	248,4064	4870	116,2131	247,1051
3115	71,4106	216,3232	3555	85,7175	240,3733									

4970	117,2389	245,8446	5140	118,4086	243,8142	5310	120,1301	242,0734	5480	121,1722	239,6175	5650	121,5172	236,8782
4975	117,2739	245,7775	5145	118,4507	243,7638	5315	120,1745	242,0095	5485	121,1908	239,5369	5655	121,5192	236,7976
4980	117,3090	245,7105	5150	118,4951	243,7134	5320	120,2158	241,9456	5490	121,2086	239,4563	5660	121,5228	236,7170
4985	117,3440	245,6434	5155	118,5403	243,6629	5325	120,2572	241,8817	5495	121,2265	239,3758	5665	121,5249	236,6365
4990	117,3791	245,5763	5160	118,5856	243,6125	5330	120,2985	241,8178	5500	121,2451	239,2952	5670	121,5269	236,5559
4995	117,4157	245,5092	5165	118,6308	243,5621	5335	120,3398	241,7539	5505	121,2629	239,2146	5675	121,5282	236,4753
5000	117,4492	245,4422	5170	118,6752	243,5117	5340	120,3811	241,6900	5510	121,2792	239,1341	5680	121,5295	236,3948
5005	117,4803	245,3751	5175	118,7204	243,4613	5345	120,4224	241,6261	5515	121,2931	239,0535	5685	121,5315	236,3142
5010	117,5114	245,3080	5180	118,7665	243,4109	5350	120,4606	241,5622	5520	121,3062	238,9729	5690	121,5328	236,2336
5015	117,5426	245,2410	5185	118,8164	243,3605	5355	120,4925	241,4983	5525	121,3201	238,8924	5695	121,5340	236,1531
5020	117,5737	245,1739	5190	118,8679	243,3101	5360	120,5236	241,4344	5530	121,3333	238,8118	5700	121,5329	236,0725
5025	117,6048	245,1068	5195	118,9186	243,2597	5365	120,5555	241,3705	5535	121,3472	238,7312	5705	121,5295	235,9919
5030	117,6368	245,0397	5200	118,9693	243,2093	5370	120,5867	241,3066	5540	121,3595	238,6507	5710	121,5269	235,9114
5035	117,6671	244,9727	5205	119,0207	243,1589	5375	120,6186	241,2427	5545	121,3711	238,5701	5715	121,5234	235,8308
5040	117,6990	244,9056	5210	119,0722	243,1085	5380	120,6489	241,1788	5550	121,3811	238,4895	5720	121,5200	235,7502
5045	117,7309	244,8385	5215	119,1237	243,0581	5385	120,6785	241,1149	5555	121,3919	238,4090	5725	121,5158	235,6697
5050	117,7613	244,7715	5220	119,1760	243,0077	5390	120,7049	241,0510	5560	121,4019	238,3284	5730	121,5108	235,5891
5055	117,7932	244,7044	5225	119,2282	242,9573	5395	120,7322	240,9871	5565	121,4119	238,2478	5735	121,5058	235,5085
5060	117,8243	244,6373	5230	119,2805	242,9069	5400	120,7602	240,9065	5570	121,4227	238,1673	5740	121,5008	235,4280
5065	117,8563	244,5702	5235	119,3328	242,8565	5405	120,7874	240,8260	5575	121,4319	238,0867	5745	121,4958	235,3474
5070	117,8897	244,5198	5240	119,3851	242,8061	5410	120,8146	240,7454	5580	121,4411	238,0061	5750	121,4908	235,2668
5075	117,9248	244,4694	5245	119,4373	242,7557	5415	120,8426	240,6648	5585	121,4495	237,9256	5755	121,4850	235,1863
5080	117,9598	244,4190	5250	119,4919	242,7053	5420	120,8706	240,5843	5590	121,4595	237,8450	5760	121,4769	235,1057
5085	117,9941	244,3686	5255	119,5458	242,6548	5425	120,8986	240,5037	5595	121,4687	237,7644	5765	121,4679	235,0251
5090	118,0291	244,3182	5260	119,6004	242,6044	5430	120,9266	240,4231	5600	121,4811	237,6839	5770	121,4606	234,9446
5095	118,0650	244,2678	5265	119,6542	242,5540	5435	120,9546	240,3426	5605	121,4839	237,6033	5775	121,4517	234,8640
5100	118,1000	244,2174	5270	119,7080	242,5036	5440	120,9826	240,2620	5610	121,4875	237,5227	5780	121,4428	234,7834
5105	118,1359	244,1670	5275	119,7634	242,4532	5445	121,0106	240,1814	5615	121,4919	237,4422	5785	121,4346	234,7029
5110	118,1748	244,1166	5280	119,8173	242,4028	5450	121,0339	240,1009	5620	121,4971	237,3616	5790	121,4234	234,6223
5115	118,2138	244,0662	5285	119,8703	242,3524	5455	121,0572	240,0203	5625	121,5007	237,2810	5795	121,4129	234,5417
5120	118,2527	244,0158	5290	119,9218	242,3020	5460	121,0821	239,9397	5630	121,5059	237,2004	5800	121,4024	234,4612
5125	118,2909	243,9654	5295	119,9741	242,2516	5465	121,1054	239,8592	5635	121,5095	237,1199	5805	121,3911	234,3806
5130	118,3307	243,9150	5300	120,0263	242,2012	5470	121,1287	239,7786	5640	121,5115	237,0393			
5135	118,3696	243,8646	5305	120,0786	242,1373	5475	121,1536	239,6980	5645	121,5144	236,9587			

8.3 Anexo: Esquema de sensores, unidad de control electrónico y actuadores. [33]

