



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA  
SINCRONIZACIÓN VARIABLE DE VÁLVULA INTELIGENTE  
(VVT-I) DE UN MOTOR 1ZZ DE TOYOTA MEDIANTE UNA  
COMPUTADORA PROGRAMABLE PARA LA OBTENCIÓN DE  
MEJOR RENDIMIENTO**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTOR: CHRISTIAN MILQUISIDÉ MARTÍNEZ ROSERO**

**DIRECTOR: ING. JAVIER MILTON SOLÍS SANTAMARIA**

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Christian Milquisidé Martínez Rosero

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Christian Milquisidé Martínez Rosero, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor/autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 26-06-2024

**Christian Milquisidé Martínez Rosero**

**160083706-4**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA SINCRONIZACIÓN VARIABLE DE VÁLVULA INTELIGENTE (VVT-I) DE UN MOTOR 1ZZ DE TOYOTA MEDIANTE UNA COMPUTADORA PROGRAMABLE PARA LA OBTENCIÓN DE MEJOR RENDIMIENTO**, realizado por el señor: **CHRISTIAN MILQUISIDÉ MARTÍNEZ ROSERO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Cristian Dillon Redroban

\_\_\_\_\_

2024-06-26

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Ing. Javier Milton Solís Santamaria

\_\_\_\_\_

2024-06-26

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Ing. Ángel José Quevedo Ríos

\_\_\_\_\_

2024-06-26

**ASESOR DEL TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## **DEDICATORIA**

A mis amados padres, quienes desde el primer día me inculcaron el valor del esfuerzo y la perseverancia, dedicándose incansablemente a brindarme todo su apoyo y amor incondicional. Su sacrificio y dedicación han sido la luz que me ha guiado en los momentos más oscuros de este arduo camino académico. A ustedes les debo cada logro, cada paso dado y cada meta alcanzada. A la persona que ilumina mi vida con su amor y su inspiración constante, Lizbeth Molina. Tu presencia ha sido mi mayor motivación y apoyo durante todo este proceso. Cada logro alcanzado en este camino académico lleva impresa tu huella, ya que tu amor y aliento han sido mi fuerza impulsora. Agradezco infinitamente tu paciencia, comprensión y sacrificio mientras dedicaba largas horas a la investigación y redacción de esta tesis. Tu amor ha sido mi refugio en los momentos de desafío y mi celebración en los triunfos. Espero que este logro también sea un testimonio de nuestro amor y compromiso mutuo. Te amo con todo mi corazón y espero que este trabajo sea un pequeño tributo a nuestra historia juntos. Gracias por ser mi inspiración y mi razón de ser.

Christian

## **AGRADECIMIENTO**

Primero y, ante todo, deseo expresar mi sincero agradecimiento a mi director de tesis, Ing. Javier Milton Solís Santamaria, por su orientación experta, paciencia inagotable y apoyo constante a lo largo de este proceso. Sus conocimientos, consejos y dedicación fueron fundamentales para llevar a cabo este trabajo de investigación. Sin su guía, este proyecto no habría sido posible. Quiero también expresar mi gratitud a mi asesor de tesis, Ing. Ángel José Quevedo Ríos, por su valiosa contribución y su disposición para brindarme su tiempo y conocimientos, enriqueciendo así este trabajo con sus perspectivas y sugerencias. Mi reconocimiento especial va para la Escuela de Ingeniería Automotriz por proporcionar los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación. Agradezco también a Autocomercio Martínez, por su apoyo financiero que hizo posible la realización de este proyecto. A mi familia, en particular, les debo mi más profundo agradecimiento. Gracias por su amor incondicional, por creer en mí y por ser mi fuente de inspiración constante. Su apoyo moral y emocional ha sido el motor que me ha impulsado a alcanzar mis metas y perseguir mis sueños.

Christian

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
SUMMARY / ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	2
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos .....	3

### CAPÍTULO II

<b>2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>4</b>
2.1 Estado del arte .....	4
2.2 Referencias teóricas.....	4
2.2.1 Ciclo del motor.....	4
2.2.2 Árbol de levas .....	7
2.2.3 Válvula.....	9
2.2.4 Asiento de válvula.....	12
2.2.5 Muelle o resorte de válvula .....	13
2.2.6 Balancines .....	14
2.2.7 Taqués .....	15

2.2.8	Tipos de distribución.....	15
2.2.9	Mando de la distribución.....	18
2.2.10	Sincronización de las válvulas .....	22
2.2.11	Cruce de válvulas .....	23
2.2.12	Distribución variable.....	24
2.2.13	Sistema inteligente de admisión variable (VVT-i).....	25
2.2.14	Funcionamiento del VVT-i .....	28
2.2.15	ECU.....	30
2.2.16	ECU programable.....	31

### **CAPITULO III**

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>35</b>
3.1	Diagrama de etapas del proyecto.....	35
3.2	Metodología de la investigación a realizar .....	35
3.2.1	Tipo de estudio.....	35
3.3	Planificación o cronograma de actividades .....	36
3.4	Recursos y materiales .....	36
3.5	Equipos .....	38
3.6	Recursos humanos .....	38
3.7	Desarrollo del Proyecto .....	39
3.7.1	Instalación MEGASQUIRT PRO .....	39
3.7.2	Esquema general y conexión.....	41
3.7.3	Conexión sensores de motor .....	44
3.7.4	Inyectores .....	47
3.7.5	Encendido.....	49
3.7.6	Conexión de sensores de velocidad o ABS .....	51

### **cAPITULO IV**

<b>4.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>54</b>
4.1	Instrumentos que se ocuparon para realizar las pruebas.....	54
4.1.1	Dinamómetro.....	54
4.2	Resultado de la comparativa con la mejora del rendimiento del VVT-i.....	54
4.2.1	Carga de combustible con respecto a las RPM .....	55
4.2.2	Ignición con respecto a las RPM.....	56
4.2.3	Carga del VVT-i con respecto a las RPM .....	57
4.2.4	Potencia obtenida de automotor estándar.....	58
4.2.5	Potencia obtenida con ECU MS3pro .....	59
4.2.6	Comparativa ECU estándar vs ECU MS3 pro .....	60
4.2.7	Potencia máxima obtenido con configuración estándar .....	61
4.2.8	Potencia máxima obtenido con ECU programable .....	63
4.2.9	Emisiones obtenidas con configuración estándar.....	64
4.2.10	Emisiones obtenidas con computadora programable .....	66
4.2.11	Análisis de distancia recorrida con ECU estándar. ....	68
4.2.12	Análisis de distancia recorrida con ECU Megasquirt 3 pro. ....	70
4.2.13	Tabla de Resultados .....	72

## **CAPÍTULO V**

<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>73</b>
5.1	Conclusiones.....	73
5.2	Recomendaciones .....	73

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b> Especificaciones generales y técnicas de la ECU programable Fueltech FT450 .....	32
<b>Tabla 3-1:</b> Cronograma .....	36
<b>Tabla 3-2:</b> Materiales .....	36
<b>Tabla 4-1:</b> Tabla comparativa de resultados .....	72

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b> Proceso de admisión del ciclo real.....	5
<b>Ilustración 2-2:</b> Proceso de compresión del ciclo real.....	5
<b>Ilustración 2-3:</b> Proceso de combustión del ciclo real.....	6
<b>Ilustración 2-4:</b> Proceso de escape del ciclo real.....	7
<b>Ilustración 2-5:</b> Partes del árbol de levas.....	8
<b>Ilustración 2-6:</b> Partes de la leva. ....	9
<b>Ilustración 2-7:</b> Asiento de válvula .....	13
<b>Ilustración 2-8:</b> Muelles de válvulas .....	14
<b>Ilustración 2-9:</b> Balancines.....	14
<b>Ilustración 2-10:</b> Taqués.....	15
<b>Ilustración 2-11:</b> Válvula alojada en el bloque.....	16
<b>Ilustración 2-12:</b> Sistema OHV. ....	17
<b>Ilustración 2-13:</b> Sistema OHC. ....	18
<b>Ilustración 2-14:</b> Accionamiento de distribución por piñón.....	20
<b>Ilustración 2-15:</b> Distribución por cadena.....	21
<b>Ilustración 2-16:</b> Correa dentada .....	22
<b>Ilustración 2-17:</b> Distribución y grafica de elevación y cruce de válvulas.....	24
<b>Ilustración 2-18:</b> Variador de fases .....	24
<b>Ilustración 2-19:</b> Sistema inteligente de admisión variable Toyota VVT-i.....	26
<b>Ilustración 2-20:</b> Controlador VVT-i .....	27
<b>Ilustración 2-21:</b> Válvula de control de aceite.....	28
<b>Ilustración 2-22:</b> Avance VVT-i.....	29
<b>Ilustración 2-23:</b> Retraso VVT-i.....	29
<b>Ilustración 2-24:</b> Retención VVT-i.....	30
<b>Ilustración 2-25:</b> ECU MS3 Pro .....	33
<b>Ilustración 2-26:</b> ECU Elite 1500.....	34
<b>Ilustración 3-1:</b> Diagrama de etapas del proyecto .....	35
<b>Ilustración 3-2:</b> Esquema eléctrico PinOut.....	41
<b>Ilustración 3-3:</b> Instalación a batería .....	43
<b>Ilustración 3-4:</b> Diagrama de conexión de sensores .....	44
<b>Ilustración 3-5:</b> Conexión a sensores de tipo hall e inductivo. Fuente: MegaSquirt, 2020. ....	45
<b>Ilustración 3-6:</b> Conexión a inyectores.....	47
<b>Ilustración 3-7:</b> Conexión a inyectores.....	49
<b>Ilustración 3-8:</b> Conexión a encendido.....	50

<b>Ilustración 3-9:</b> Conexión a bobinas. Fuente: MegaSquirt, 2020.....	51
<b>Ilustración 3-10:</b> Conexión a sensor se velocidad o ABS .....	53
<b>Ilustración 4-1:</b> Dinamómetro .....	54
<b>Ilustración 4-2:</b> Modificación de ECU .....	55
<b>Ilustración 4-3:</b> Carga de Combustible vs RPM.....	56
<b>Ilustración 4-4:</b> Ignición vs RPM .....	57
<b>Ilustración 4-5:</b> Carga del VVT-i vs RPM .....	58
<b>Ilustración 4-6:</b> Potencia Vehículo estándar.....	59
<b>Ilustración 4-7:</b> Potencia obtenida con ECU programable .....	60
<b>Ilustración 4-8:</b> Diagrama de comparativa de Potencia obtenida.....	61
<b>Ilustración 4-9:</b> Gráfica dinamómetro motor estándar .....	63
<b>Ilustración 4-10:</b> Grafica de curvas con computadora programable.....	64
<b>Ilustración 4-11:</b> Tabla de emisiones permitidas en Ecuador.....	65
<b>Ilustración 4-12:</b> Emisiones obtenidas configuración estándar .....	66
<b>Ilustración 4-13:</b> Emisiones obtenidas computadora programable .....	67

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** CABLEADO BOBINAS.

**ANEXO B:** PROGRAMACIÓN ECU.

**ANEXO C:** CABLEADO INYECTORES.

**ANEXO D:** PRUEBA DINAMÓMETRO.

**ANEXO B:** CALIBRACIONES MEDIANTE EL SOFTWARE TUNERSTUDIO

## RESUMEN

El sistema VVT-I es un sistema inteligente que varía el tiempo de apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape ubicadas en el árbol de levas, optimizando la combustión del combustible dentro de la cámara de combustión, normalmente la admisión se abre y se cierra en momentos fijos del ciclo de funcionamiento del motor, sin embargo el sistema VVT-I se ajusta dinámicamente el tiempo que las válvulas permanece abiertas permitiendo entrada de aire en el cilindro según las demandas de potencia requerida. El objetivo principal del trabajo de titulación es implementar una computadora programable MS3 Pro para modificar el tiempo de apertura y cierre de las válvulas para mejorar la eficiencia en torque y potencia del vehículo corolla, realizando el análisis de toma de datos en un dinamómetro para estudiar los efectos que causa modificar el sistema VVT-I. La metodología empleada en este trabajo de titulación adopto un enfoque inductivo ya que se basa en el método lógico científico de la recopilación de datos reales obtenidos en el dinamómetro en condiciones estándar y modificadas. Se pudo observar al momento de modificar con la computadora MS3 Pro los datos obtenidos con la computadora estándar y la modificada como mejora de 7.8 HP el dinamómetro 4WD, mientras que el BA PRO obtenemos una diferencia de 7.39 HP y un torque de 16.55 Nm de diferencia, mientras que el BA PRO obtenemos una diferencia de 6 Nm, por otro lado la contaminación dándonos un lambda con configuración estándar 0.944, mientras la configuración ideal con la computadora programable nos arroja un lambda de 1.039 que sería ideal para generar menos gases contaminantes en las emisiones es donde más se obtuvo una mejora sustancial reduciendo gases contaminantes y mejorando la combustión del automotor generando un ahorro de combustible.

**Palabras Claves:** <ECU>, <INYECTOR>, <MEGA SQUIRT 3 PRO (MS3PRO)>, <LEVAS>, <MOTOR>, <DINAMOMETRO>, <LAMBDA>.

## SUMMARY

The VVT-I system is an intelligent system that varies the opening and closing time of the intake and exhaust valves located on the camshaft, optimizing the combustion of fuel inside the combustion chamber, normally the intake opens and closes at fixed times of the engine operating cycle. However, the VVT-I system dynamically adjusts the time the valves remain open allowing air intake into the cylinder according to the required power demands. The main objective of the degree work is to implement a programmable computer MS3 Pro to modify the opening and closing time of the valves to improve the efficiency in torque and power of the corolla vehicle, performing the analysis of data collection on a dynamometer to study the effects caused by modifying the VVT-I system. The methodology used in this degree work adopted an inductive approach since it is based on the logical scientific method of collecting real data obtained on the dynamometer under standard and modified conditions. It could be observed at the moment of modifying with the MS3 Pro computer the data obtained with the standard computer and the modified one as an improvement of 7.8 HP the 4WD dynamometer, while the BA PRO we obtain a difference of 7.39 HP and a torque of 16.55 Nm of difference, while the BA PRO we obtain a difference of 6 Nm, on the other hand the contamination giving us a lambda with a configuration of 7.8 HP and a torque of 16.55 Nm of difference, while the BA PRO we obtain a difference of 6 Nm. On the other hand, the contamination gives us a lambda with standard configuration 0.944, while the ideal configuration with the programmable computer gives us a lambda of 1.039, which would be ideal to generate less polluting gases in the emissions is where a substantial improvement was obtained, reducing polluting gases and improving the combustion of the vehicle, generating fuel savings.

**Keywords:** <INJECTOR>, <MEGA SQUIRT 3 PRO (MS3PRO)>, <CAMS>, <ENGINE>, <DYNAMOMETER>, <LAMBDA>.

Lic. Sandra Paulina Porras Pumalema MsC  
C.I. 0603357062

## INTRODUCCIÓN

El sistema VVT-i (Variable Valve Timing with Intelligence) de Toyota es una innovadora tecnología de control de sincronización de válvulas que ha revolucionado la industria automotriz al mejorar la eficiencia del motor y reducir las emisiones. Esta introducción explorará los fundamentos y beneficios de este sistema, destacando cómo Toyota ha integrado la inteligencia en la gestión del tiempo de apertura y cierre de las válvulas para optimizar el rendimiento del motor. En el corazón del sistema VVT-i se encuentra la capacidad de ajustar dinámicamente el momento en que las válvulas de admisión y escape se abren y cierran. Tradicionalmente, los motores utilizaban un sistema de sincronización fija que no permitía adaptarse a las diferentes condiciones de conducción. Con el VVT-i, Toyota introdujo un enfoque dinámico y adaptable que mejora la eficiencia del motor en una variedad de situaciones. La base del sistema VVT-i reside en un conjunto de árboles de levas variables que permiten modificar el tiempo de apertura de las válvulas. La inteligencia del sistema radica en la capacidad de ajustarse automáticamente según la carga del motor, la velocidad y otros parámetros. Esto significa que el motor puede optimizarse para proporcionar más potencia cuando se necesita, como al acelerar, o para mejorar la eficiencia de combustible durante la conducción a velocidades constantes. La principal ventaja del VVT-i es su capacidad para mejorar tanto el rendimiento como la eficiencia del motor. Al permitir una combustión más eficiente y completa del combustible, se logra una mayor potencia y se reduce la emisión de contaminantes. Además, la adaptabilidad del sistema significa que el motor puede funcionar de manera más eficiente en una variedad de condiciones de conducción, desde la ciudad hasta la autopista.

El sistema VVT-i también contribuye significativamente a la reducción de las emisiones contaminantes. Al optimizar la sincronización de las válvulas, se minimiza la cantidad de gases no quemados liberados a la atmósfera. Esto no solo cumple con las regulaciones ambientales cada vez más estrictas, sino que también mejora la reputación de Toyota como líder en tecnologías respetuosas con el medio ambiente.

Además de sus beneficios ambientales y de eficiencia, el VVT-i tiene un impacto positivo en la experiencia de conducción. Los conductores disfrutan de una respuesta más rápida del acelerador y una mayor suavidad en el rendimiento del motor, lo que contribuye a una conducción más placentera y cómoda.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del problema

La tecnología desarrollada por Toyota hace varios años atrás, que se utilizaba en sus motores de gasolina para mejorar la eficiencia de consumo de combustible, el rendimiento del motor y reducir las emisiones contaminantes, se ha dado mediante la implementación de la Sincronización Variable de Válvulas Inteligente (VVT-i) controlada electrónicamente, que se enfoca en ajustar el momento de adelanto o retardando el tiempo en que las válvulas de admisión y escape se abren y cierran de acuerdo con las condiciones de funcionamiento del motor, como la velocidad del motor, la presión de aceite, la carga del pedal de aceleración y la temperatura del motor.

En el motor 1zz de un Toyota Corolla 2005 1.8cc implementa este sistema VVT-i, siendo un motor antiguo o menos avanzado tecnológicamente, el rendimiento a bajas RPM no es tan impresionante y potente como a RPM más altas. Esto hace que el automóvil tenga bajo torque al arrancar desde cero, lo que puede ser una desventaja en situaciones de conducción en la ciudad. Además, la Unidad de Control Electrónico (ECU) de fábrica está seteada para trabajar de manera sistemática ya que son de producción masiva implementados en vehículos de uso diario, por lo que no se habilita la oportunidad de activar y manipular la válvula a decisión del conductor.

Siendo nula la posibilidad de que la ECU de fábrica permita una optimización de la válvula VVT-i como ajustar, calibrar adecuadamente el funcionamiento aun de mejor manera, potenciar y dar parámetros mediante algún programa de software que permita programar datos al beneficio del conductor en condiciones de manejo específicas de la región en donde se circula con la intención de obtener una notable mejoría.

Por ello, la empresa AUTOCOMERCIO MARTÍNEZ que se encuentra involucrada en el campo automotriz, pretende obtener una solución a esta problemática que encuentra en sus vehículos comercializados en dicha empresa.

### 1.2 Justificación

El sistema VVT-i de Toyota es una tecnología bien establecida y ha sido implementada en muchos de sus modelos de vehículos a lo largo de los años. Además, otras marcas de automóviles también

han desarrollado tecnologías similares de sincronización variable de válvulas para mejorar el rendimiento y la eficiencia de sus motores de gasolina. El desarrollo automotriz siempre se va a mantener a la vanguardia, así mismo el desarrollo de sus partes, piezas, componentes electrónicos, va a favorecer a propietarios, ingenieros y casas comerciales.

Por ello queremos evaluar el comportamiento y a la vez optimizar para obtener mejor eficiencia del trabajo de la válvula mediante una computadora que no sea la original, sino una programable de tipo Megasquirt 3pro la cual brinda opciones de manipulación de parámetros mediante el software TunerStudio al sistema VVT-i (motor 1zz de Toyota), o de cualquier motor que tenga incorporado este sistema. Con el fin de obtener resultados en diferentes y mejorados en tipos de conducción.

Una de las estrategias que la empresa AUTOCOMERCIO MARTÍNEZ pretende utilizar para hacer marketing es la demostración en optimización y potencia de todos los motores con sistema VVT-i para obtener propietarios que deseen hacer esta conversión, dando a conocer su nombre a nivel local y nacional. realizar este proceso de desarrollo, optimización y cambio de computadora para obtener mejor rendimiento y potencia de la válvula VVT-i en el motor Toyota 1zz.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

Evaluar el comportamiento de la sincronización variable de válvula inteligente (VVT-i), mediante una computadora programable, para la obtención de mejor rendimiento.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Realizar la conversión de la computadora original de un Toyota Corolla con motor 1zz a una computadora de tipo programable Megasquirt 3pro.
- Comparar las curvas de torque y potencia en un dinamómetro, antes y después de su evaluación.
- Desarrollar programaciones a la nueva computadora para obtener una correcta optimización sistema VVT-i en este tipo de motor.
- Realizar pruebas dinámicas y estáticas con la nueva ECU.

## CAPÍTULO II

### 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1 Estado del arte

Diversas marcas en la industria automotriz han adoptado el sistema de distribución variable, generando así una variedad de sistemas con nombres distintos, pero sin embargo tiene la misma función, aunque en el principio operativo es esencialmente similar, se ha desarrollado 2 enfoques de fundamentos estos sistemas con el fin de incrementar el ángulo de apertura de las válvulas de admisión.

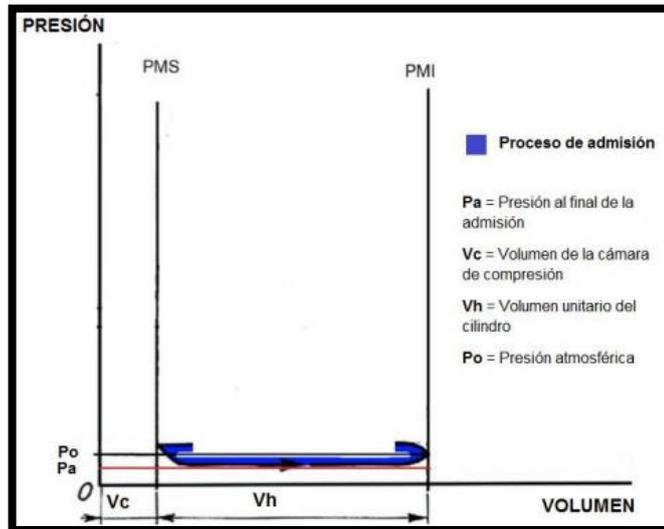
#### 2.2 Referencias teóricas

##### 2.2.1 *Ciclo del motor*

El motor de combustión interna (MCI) de cuatro tiempos que se lo conoce en la actualidad perfeccionado e ideado por Nikolaus August Otto, sigue un ciclo de funcionamiento que se estructura en cuatro fases las cuales son: admisión, compresión, trabajo y escape, las cuales surgen dentro del motor accionado por la energía calorífica del combustible que se convierte en energía mecánica, dichas fases se deben cumplir en un determinado tiempo dentro de cada ciclo (Malo J, 2013, p.7).

##### 2.2.1.1 *Admisión*

La primera etapa del ciclo de combustión implica la entrada de la mezcla de aire y combustible, la cual es aspirada mediante el movimiento descendente del pistón desde el punto muerto superior al punto muerto inferior. El aire debe ser succionado por el motor, de tal manera se somete a un proceso en el cual se mezcla con combustible dentro del cilindro a través del movimiento del pistón y el control de la válvula de admisión, que abre el paso desde el múltiple de admisión hacia el cilindro. En esta fase inicial, la función principal consiste en llenar el cilindro con la mezcla de aire y combustible de forma homogénea para crear una combustión óptima (Malo J, 2013, p.7).

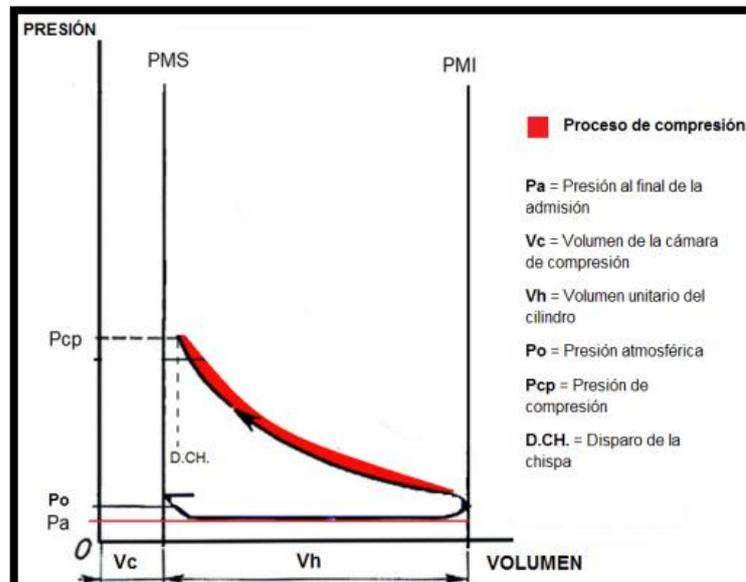


**Ilustración 2-1:** Proceso de admisión del ciclo real

Fuente: Chuquimia O, 2018.

### 2.2.1.2 Compresión

En la segunda fase, se lleva a cabo la compresión de la mezcla de aire y combustible, durante la cual el pistón comprime los gases al ser desplazado desde el punto muerto inferior hasta el punto muerto superior. Es esencial que las válvulas estén cerradas y que exista una estanqueidad en el cilindro para elevar la presión de la mezcla, lo cual contribuirá a una combustión más eficiente (Malo J, 2013, p.7).

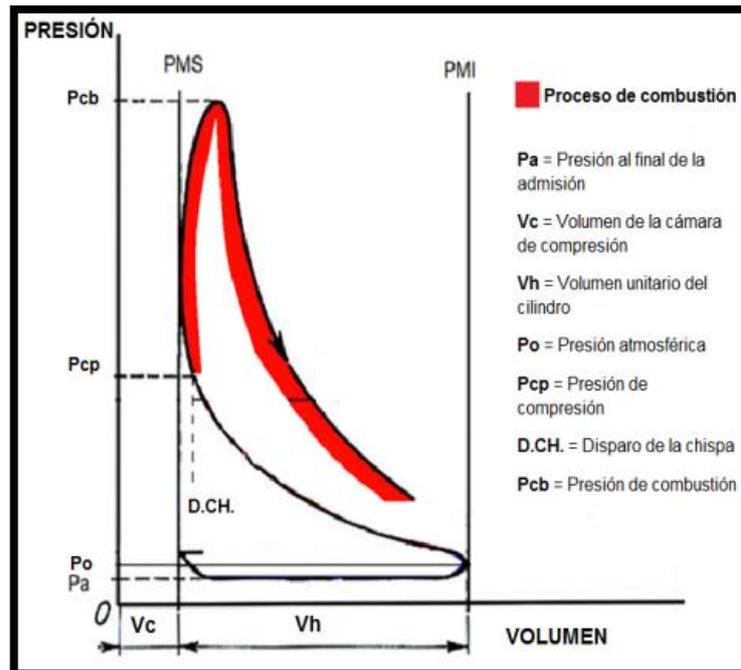


**Ilustración 2-2:** Proceso de compresión del ciclo real

Fuente: Chuquimia O, 2018.

### 2.2.1.3 Trabajo

En la tercera fase del ciclo, se lleva a cabo la combustión del aire y el combustible mediante una chispa generada por la bujía que enciende los gases comprimidos dentro del cilindro, generando así energía que la energía calorífica se convierta en mecánica. Después de la explosión de la mezcla, el pistón sufre una fuerza contraria que genera el movimiento del mismo desde el punto muerto superior hasta el punto muerto inferior, creando el tiempo de trabajo que proporcionará la fuerza necesaria para accionar el cigüeñal (Malo J, 2013, p.7).

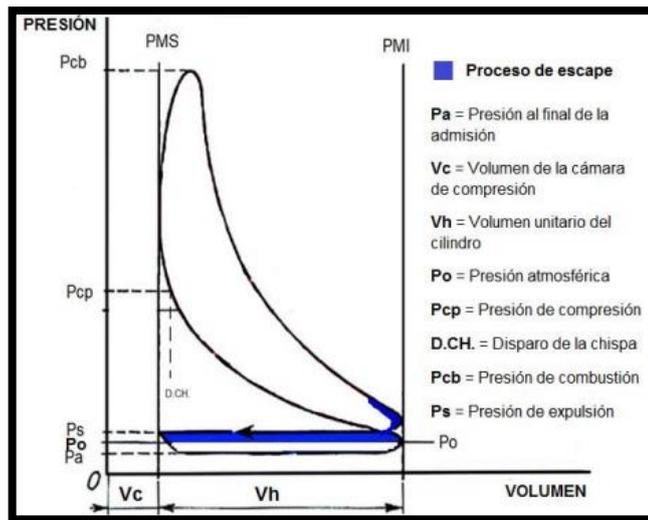


**Ilustración 2-3:** Proceso de combustión del ciclo real

Fuente: Chuquimia O, 2018.

### 2.2.1.4 Escape

Al concluir la fase de combustión, se generan gases ya quemados gases contaminantes, tales como óxido de carbono, óxido de nitrógeno, dióxido de carbono e hidrocarburos, entre otros. Estos gases son expulsados del cilindro mediante el múltiple de escape para permitir la entrada de una nueva mezcla de aire y combustible que complete el ciclo. Para llevar a cabo este proceso, es necesario abrir una válvula de escape y que el pistón expulse los gases quemados al moverse desde el punto muerto inferior hasta el punto muerto superior de tal manera que se vacía la cámara de combustión permitiendo el nuevo ingreso de una mezcla completamente homogénea de aire combustible (Malo J, 2013, pp.7-8).



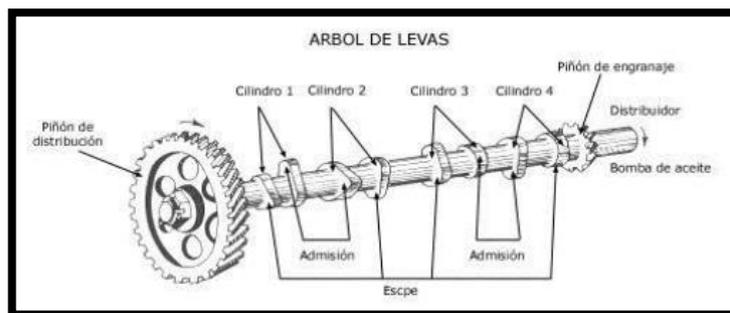
**Ilustración 2-4:** Proceso de escape del ciclo real

Fuente: Chuquimia O, 2018.

### 2.2.2 *Árbol de levas*

La eficiencia máxima del motor se verá influenciada por diversos factores, siendo uno de los más significativos el árbol de levas. La preparación de este componente puede impactar en las revoluciones requeridas para lograr una mejor entrada de aire al motor. El árbol de levas consiste en un mecanismo que incluye un eje sobre el cual se disponen levas con distintas formas, tamaños y orientaciones (Chuquimia O, 2018, p. 12).

Un árbol de levas se produce mediante el proceso de forja y luego se somete a tratamientos superficiales como cementación para endurecer su superficie, manteniendo su núcleo inalterado. La mayoría de los ejes de levas están diseñados para optimizar el traslape valvular, es decir, para mantener la misma apertura de las válvulas de admisión y escape en el Punto Muerto Superior (P.M.S.). Si la válvula de admisión tiene una mayor apertura que la de escape en el P.M.S., se considera que el árbol de levas está "adelantado"; por otro lado, si la válvula de escape está más abierta que la de admisión en el P.M.S., se dice que el árbol de levas está "retrasado". Las levas con flancos de formas diferentes se denominan "asimétricas", permitiendo a los diseñadores realizar ajustes precisos en el funcionamiento del motor al cambiar el momento en el que una válvula se abre o se cierra (Chuquimia O, 2018, pp. 12-13).



**Ilustración 2-5:** Partes del árbol de levas

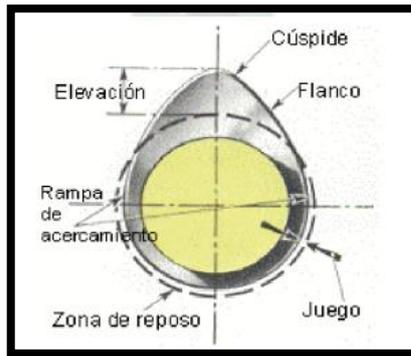
Fuente: Chuquimia O, 2018.

Entre la superficie de la leva y su seguidor se produce un rozamiento significativo, y para mitigar el desgaste en este punto, tanto la leva como el seguidor se someten a endurecimientos superficiales mediante tratamientos térmicos. Además, los aceites lubricantes del motor incluyen aditivos especiales diseñados para reducir la fricción (Chuquimia O, 2018, p. 13).

El proceso de introducir una carga fresca en el cilindro, sin importar el método de formación de la mezcla o el tipo de encendido, conlleva un gasto correspondiente de energía. Después de la combustión y del ciclo de trabajo, es necesario expulsar los gases quemados de los cilindros, lo cual también implica un gasto de energía (Chuquimia O, 2018, p. 13).

#### 2.2.2.1 Partes de las levas

Las levas constan de un círculo base y una cresta que se extiende a ambos lados (flancos), generalmente con tramos más o menos rectos. Debido a su función, esta geometría posee un contorno extremadamente preciso, ya que de él depende el mejor rendimiento del motor. Los dos elementos clave que definen el contorno de la leva son la elevación y el ángulo de apertura. La elevación se refiere a la altura a la que la leva levanta la válvula, mientras que el ángulo de apertura representa la cantidad de grados de rotación del cigüeñal durante los cuales la válvula permanece fuera de su asiento (Chuquimia O, 2018, p. 14).



**Ilustración 2-6:** Partes de la leva.

Fuente: Chuquimia O, 2018.

### 2.2.3 Válvula

Las válvulas desempeñan la función de regular el flujo de líquidos o gases, y en el caso de las válvulas utilizadas en la admisión y escape de motores de cuatro tiempos, generalmente son válvulas de asiento. Estas válvulas cuentan con uno o más orificios que conectan el múltiple de admisión con el cilindro, así como lo hacen para el escape. Estos orificios suelen ser de forma redonda y fabricados con un material más duro que el aluminio de la culata, comúnmente construidos con un inserto de acero que puede contener aleaciones como cromo y cobalto. Aunque en algunos casos, las culatas pueden tener orificios trabajados directamente sobre el aluminio para cumplir con la misma función (Chuquimia O, 2018, p. 15).

El asiento de la válvula debe resistir la fuerza de un tapón cónico en forma de disco que experimenta movimientos constantes de apertura y cierre. En el extremo de este tapón se encuentra una varilla, también conocida como vástago, que guía y transmite la fuerza a la válvula en su movimiento lineal. Estos vástagos suelen ser huecos y llenos de sodio, un elemento que mejora la transferencia de calor (Chuquimia O, 2018, p. 15).

El asiento o anillo se presenta en una forma circular y posee tres ángulos en su carátula (15, 34, 60). Estos ángulos tienen como objetivo garantizar un cierre hermético entre la cabeza de la válvula y el asiento de la válvula en la culata del motor. La válvula, como componente, requiere mecanismos que generen el movimiento necesario para su apertura y cierre. Existen diversos diseños y sistemas destinados a esta función, siendo los principales aquellos que emplean una fuerza transmitida desde el árbol de levas hasta las distintas válvulas mediante vástagos, taques, balancines y propulsores (Chuquimia O, 2018, p. 15).

El árbol de levas se engrana de diversas maneras con el cigüeñal y tiene la capacidad de girar a la mitad de la velocidad de este último. El perfil y la posición de la leva determinan la apertura de la válvula. Por otro lado, el cierre de la válvula se logra mediante un muelle o resorte calibrado, diseñado para ser lo suficientemente fuerte como para cerrar la válvula y garantizar la hermeticidad (Chuquimia O, 2018, p. 15).

Ya que el vástago se prolonga a través de la guía de las válvulas de admisión o escape hasta llegar a la galería del árbol de levas, es imprescindible instalar un retenedor de resorte con material de caucho que envuelva la superficie de la varilla. Este paso se realiza con el fin de prevenir la transferencia de aceite desde dicha cavidad hacia la abertura de admisión o escape, lo cual podría ocasionar un consumo excesivo de aceite. En muchas ocasiones, este problema se manifiesta a través de un tono azulado en los gases de escape. También se puede detectar examinando las bujías del motor para verificar si están recubiertas de aceite (Chuquimia O, 2018, pp. 15-17).

#### *2.2.3.1 Distribución multiválvulas*

El sistema de distribución debe posibilitar un óptimo intercambio de gases en diversas condiciones. Las dimensiones y la cantidad de válvulas tienen un impacto directo, influyendo en la complejidad mecánica y el costo de fabricación. En la actualidad, es posible encontrar motores con dos, tres, cuatro o incluso cinco válvulas por cilindro.

Este enfoque permite mejorar la eficiencia de la admisión de aire a altas velocidades de rotación y aumenta la generación de par. Al mismo tiempo, el diseño de la cámara de compresión, de menor tamaño y forma más adecuada, facilita la ubicación óptima de la bujía o el inyector. Además, se reduce la propensión al autoencendido, lo que permite elevar la relación de compresión y mejorar el rendimiento general del motor (García V, 2014, p.35).

#### *2.2.3.2 Dos válvulas por cilindro*

Debido a su simplicidad y costo reducido, esta configuración es la más prevalente, si bien su principal desventaja radica en no favorecer un alto rendimiento volumétrico. En este sistema, es posible colocar el árbol de levas tanto en el bloque como en la culata, permitiendo incluso la instalación de un doble árbol de levas. La culata puede presentar un diseño de flujo transversal o disponer los colectores de admisión y escape de manera lateral (García V, 2014, p.35).

La flexibilidad en la ubicación de las válvulas en la cámara de combustión, sin restricciones de espacio, es un punto a favor. Esta característica posibilita la aplicación sencilla de soluciones como el uso de doble bujía de encendido (twin cam) en motores de gasolina, así como la implementación de inyectores y bujías de incandescencia en motores diésel (García V, 2014, p.35).

#### *2.2.3.3 Tres válvulas por cilindro*

En este sistema, se emplean dos válvulas de admisión y una de escape, lo cual contribuye a un rendimiento volumétrico eficiente en altas velocidades de rotación, junto con un costo de fabricación reducido y pérdidas de fricción mínimas. Sin embargo, no permite la ubicación de la bujía en el centro de la cámara de combustión, lo que lleva a la mayoría de los motores a ser equipados con dos bujías de encendido para evitar complicaciones (García V, 2014, p.36).

La activación del árbol de levas se logra mediante balancines o de manera directa, siendo ambas acciones impulsadas por una correa dentada. En caso de contar con un sistema de distribución variable, dicha correa dentada arrastra el árbol de escape (árbol conductor), el cual a su vez impulsa al árbol de admisión (árbol conducido) (García V, 2014, p.36).

#### *2.2.3.4 Cuatro válvulas por cilindro*

Este sistema cuenta con dos válvulas de admisión y dos de escape, dispuestas en una alineación por pares. Permite la colocación central de la bujía o del inyector y, por lo general, está controlado por dos árboles de levas. Aunque esta configuración implica una mayor complejidad mecánica y un aumento en el costo de fabricación, posibilita obtener rendimientos volumétricos significativos a velocidades medias y altas del motor, dependiendo de su diagrama de distribución (García V, 2014, pp. 36-37).

Dado que estos motores suelen incorporar sistemas anticontaminantes obligatorios, como el catalizador, el filtro de partículas y la recirculación de gases de escape, esta disposición contrarresta las pérdidas asociadas. No obstante, se observa un deterioro en el rendimiento del motor a bajas velocidades, lo cual se aborda mediante el uso de colectores de admisión variable y sistemas de distribución variable. Estas soluciones permiten mejorar el rendimiento volumétrico del motor (García V, 2014, pp. 36-37).

#### 2.2.3.5 *Cinco válvulas por cilindro*

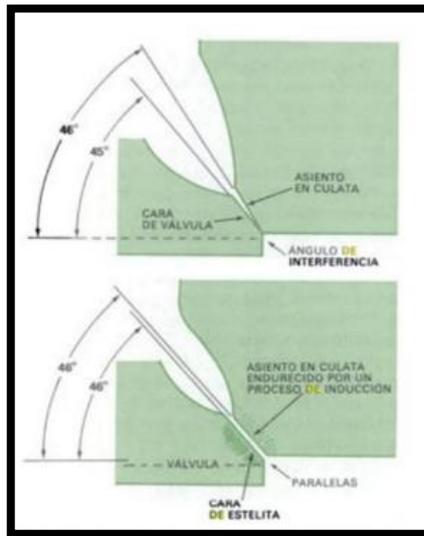
Este sistema se instala en motores de alto rendimiento, los cuales buscan optimizar el llenado del cilindro para operar eficientemente a altas velocidades del motor. La disposición de este sistema consiste en tres válvulas de admisión, lo que permite un llenado óptimo de la cámara, y dos válvulas de escape de mayor tamaño para facilitar la expulsión rápida de gases. La posición de la bujía puede ser central y la cámara hemisférica favorece una combustión adecuada, contribuyendo tanto al consumo de combustible como a la reducción de las emisiones contaminantes (García V, 2014, pp. 36-37).

Las válvulas de admisión son idénticas, aunque la central se coloca con un ángulo menor para dejar espacio para la bujía. El accionamiento de las válvulas es realizado por el mismo árbol de levas, pero en diferentes inclinaciones (García V, 2014, pp. 36-37).

#### 2.2.4 *Asiento de válvula*

Los asientos de las válvulas desempeñan la función de sellar herméticamente el cilindro en colaboración con las válvulas. Estos asientos se encuentran ubicados en la cámara de combustión y tienen una forma cónica que se ajusta perfectamente a la cabeza de la válvula mediante un ángulo comúnmente de 45° (Malo J, 2013, p. 13).

Es posible que los asientos de válvulas estén incorporados directamente en la culata, formando un solo cuerpo con ella, especialmente cuando la culata está hecha de acero. Sin embargo, en culatas de aluminio, los asientos se insertan a presión o por contracción con el objetivo de reforzar su resistencia. Estos asientos están fabricados con aleaciones de cromo y estaño o acero de alta aleación al cromomanganeso para reducir la resistencia al flujo de los gases, y sus bordes están biselados a ángulos de 15° y 75° (Malo J, 2013, p. 13).



**Ilustración 2-7:** Asiento de válvula

Fuente: Malo J, 2013.

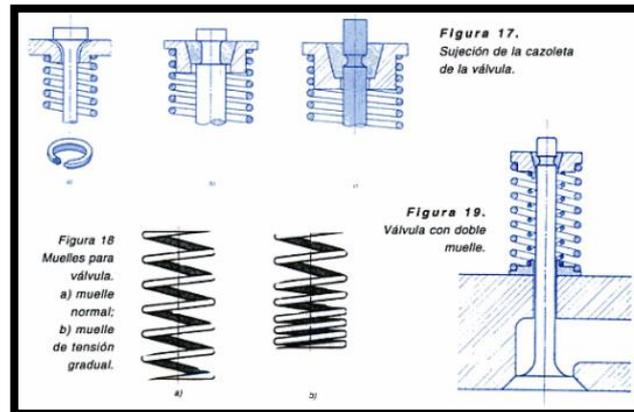
### 2.2.5 *Muelle o resorte de válvula*

Los resortes desempeñan el papel de cerrar las válvulas y mantener la estanqueidad en el cilindro. Estos resortes deben tener la tensión adecuada para cerrar la válvula incluso a altas revoluciones del motor, pero al mismo tiempo, su tensión debe ser lo más baja posible para evitar esfuerzos excesivos en la apertura de las válvulas. Mayormente, se fabrican con acero aleado con silicio y magnesio (Malo J, 2013, pp. 16-17).

La deformación de los resortes ocurre de manera uniforme en todas sus espiras cuando se someten a una carga lenta. Sin embargo, cuando la carga es abrupta, las espiras cercanas a los extremos tienden a acercarse más rápido que las del centro, creando un movimiento similar al de un acordeón. Este fenómeno también se presenta cuando se libera la carga del resorte. En otras palabras, cuando un resorte soporta una carga aplicada en un período muy corto, las espiras de los extremos tienden a unirse más rápido que las del centro. Una vez que se aplica toda la carga, las espiras adoptan una distancia simétrica entre sí, pero al retirar la carga, las espiras de los extremos se alejan más rápido que las del centro. Como resultado de este fenómeno, las espiras centrales del muelle se acercan y alejan alternativamente de ambos extremos (Malo J, 2013, pp. 16-17).

Este movimiento puede llevar a la rotura del resorte cuando el periodo de las oscilaciones supera un valor específico, que depende del material, ancho, número de espiras del muelle y revoluciones del motor; en este caso, el muelle entra en resonancia. Para evitar este fenómeno, en muchos casos se utilizan dos resortes con características diferentes que operan a diferentes frecuencias para

evitar la resonancia. También existe un método en el que las espiras de un extremo se hacen más cercanas que las del resto del resorte, evitando así que entre en una oscilación de resonancia; estas espiras más cercanas deben ubicarse en el lado de la culata (Malo J, 2013, pp. 16-17).

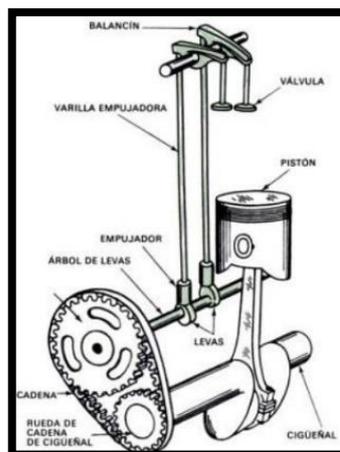


**Ilustración 2-8:** Muelles de válvulas

Fuente: Malo J, 2013.

### 2.2.6 Balancines

Los balancines son elementos que contribuyen a aumentar la altura de la leva sobre la válvula y transfieren el movimiento desde el taqué hacia la válvula. Funcionan de manera similar a un mecanismo de sube y baja, aprovechando la fuerza de la palanca para reducir el rozamiento y, al mismo tiempo, pueden amplificar el movimiento vertical de la válvula. No todos los vehículos incorporan este mecanismo, ya que agregar esta pieza implica un componente adicional que debe ser movido, aumentando así el peso del sistema. Sin embargo, en muchos casos, los balancines facilitan la construcción de la culata y permiten aumentar la altura de las levas (Malo J, 2013, p. 20).



**Ilustración 2-9:** Balancines

Fuente: Malo J, 2013.

### 2.2.7 *Taqués*

Los taqués desempeñan la función de convertir el movimiento circular generado por el árbol de levas en un movimiento rectilíneo alternativo u oscilante, necesario para la operación de apertura y cierre de las válvulas. Estas piezas suelen fabricarse principalmente con acero y aleaciones para resistir la fricción constante con la leva. Dada la naturaleza continua del roce, es esencial que estén construidas con materiales que puedan soportar estas condiciones. Es importante destacar que los taqués siempre operan con la asistencia de aceite, el cual proporciona una capa de lubricación y refrigeración (Malo J, 2013, p. 21).



**Ilustración 2-10:** Taqués

Fuente: Malo J, 2013.

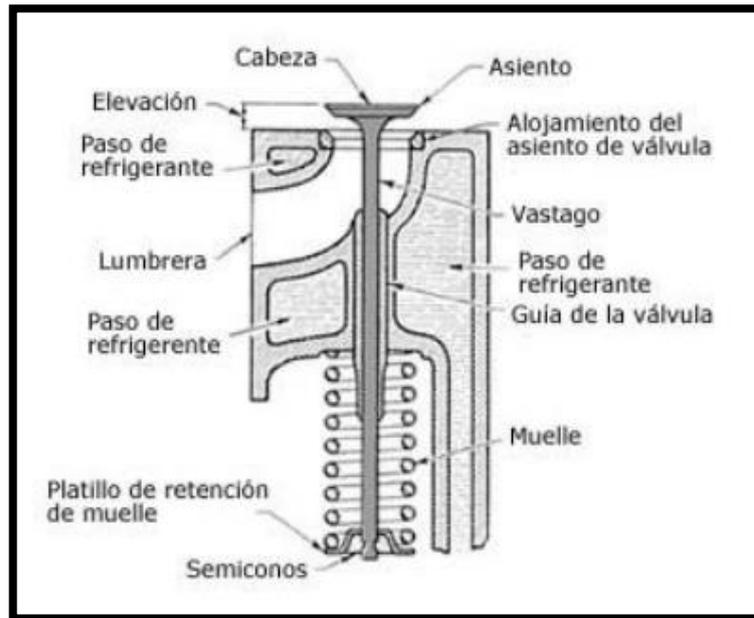
### 2.2.8 *Tipos de distribución*

La clasificación de los sistemas de distribución puede depender de la ubicación del árbol de levas. Anteriormente, hasta la década de 1980, los motores se configuraban con el árbol de levas posicionado en el bloque del motor. En la actualidad, prácticamente todos los motores tienen el árbol de levas montado en la culata (tapa de cilindro) (Saralegui & Mariano, 2019, p.7).

#### 2.2.8.1 *Sistema SV (Side valves)*

El sistema de válvulas laterales, como se muestra en la ilustración 2-11, muestra que la válvula se encuentra en una posición lateral al cilindro, es decir, está ubicada en el bloque. La operación de esta válvula está controlada por el árbol de levas situado en el bloque del motor. Este sistema de distribución ha caído en desuso desde hace algún tiempo, ya que las válvulas no están ubicadas en la culata, sino en el bloque del motor. Esto conlleva a que la cámara de compresión deba ser

más grande y que el tamaño de las cabezas de las válvulas se vea limitado por el espacio reducido disponible (Saralegui & Mariano, 2019, p.7).



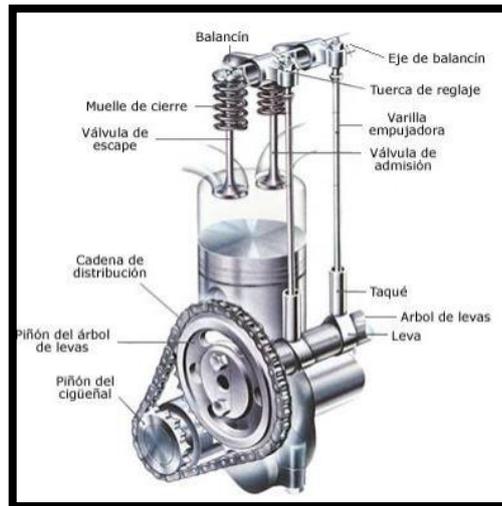
**Ilustración 2-11:** Válvula alojada en el bloque

Fuente: Saralegui & Mariano, 2019.

#### 2.2.8.2 Sistema OHV (OverHead Valve)

Este sistema se caracteriza por tener el árbol de levas ubicado en el bloque del motor, mientras que las válvulas están dispuestas en la culata, tal como se muestra en la ilustración 2-12. Una ventaja de este diseño es que la transmisión de movimiento desde el cigüeñal al árbol de levas se realiza directamente mediante dos piñones o mediante la interposición de un tercero, pudiendo también utilizar una cadena de corta longitud. Un beneficio adicional de este sistema es que la transmisión de movimiento entre el cigüeñal y el árbol de levas requiere un mantenimiento mínimo o, en su defecto, a intervalos extensos de kilómetros (Saralegui & Mariano, 2019, p.8).

Sin embargo, una desventaja de este sistema radica en el elevado número de componentes necesarios para compensar la distancia entre el árbol de levas y las válvulas. Este inconveniente afecta principalmente a altas velocidades del motor, lo que limita el número máximo de revoluciones que pueden alcanzar estos motores. Además, este sistema se ve afectado significativamente por la temperatura del motor, lo que hace necesario un juego considerable en los taqués (Saralegui & Mariano, 2019, p.8).

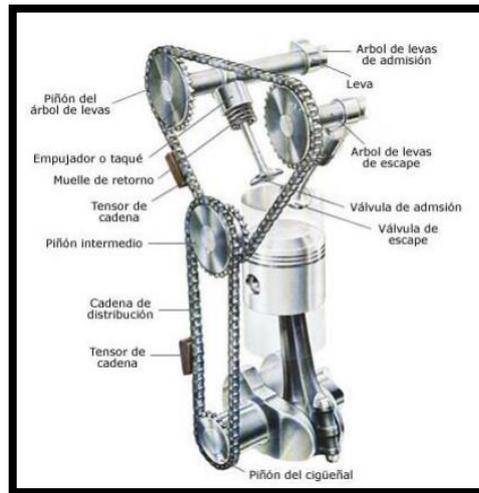


**Ilustración 2-12:** Sistema OHV.

Fuente: Saralegui & Mariano, 2019

### 2.2.8.3 Sistema OHC (*OverHead Cam*)

El árbol de levas y las válvulas están ubicados en la culata, siendo este sistema el más comúnmente empleado en la actualidad en todos los vehículos. Una ventaja clave de este diseño es la reducción en el número de componentes entre el árbol de levas y la válvula, lo que permite una apertura y cierre más precisos de las válvulas. Esto posibilita que los motores equipados con este sistema alcancen un mayor número de revoluciones. No obstante, presenta la desventaja de complicar la transmisión del movimiento desde el cigüeñal al árbol de levas, ya que requiere correas o cadenas de distribución de mayor longitud. Estas cadenas experimentan desgaste con el tiempo y, por ende, demandan un mantenimiento más frecuente. A pesar de su mayor complejidad y coste, este sistema resulta más eficiente y ofrece un rendimiento superior del motor (Saralegui & Mariano, 2019, p.8).



**Ilustración 2-13:** Sistema OHC.

Fuente: Saralegui & Mariano, 2019

### 2.2.9 Mando de la distribución

El giro rotativo del árbol de levas se logra directamente desde el cigüeñal, utilizando diversos sistemas de transmisión que pueden incluir:

- Ruedas dentadas.
- Cadena de rodillos.
- Correa dentada.

La elección del sistema depende del tipo de motor, la ubicación del árbol de levas y los costos de fabricación. Actualmente, la tendencia en la mayoría de los casos es optar por una transmisión silenciosa (Saralegui & Mariano, 2019, p. 10).

Independientemente del tipo de transmisión empleada, es crucial que la velocidad de rotación en el árbol de levas sea la mitad de la velocidad en el cigüeñal. Para lograr esto, los piñones de accionamiento conectados a los árboles conducido y conductor deben mantener una relación de 2/1, lo que significa que el diámetro o número de dientes del piñón conducido (árbol de levas) debe ser el doble que el piñón conductor (cigüeñal) (Saralegui & Mariano, 2019, p. 10).

El sistema de distribución, además de transmitir movimiento al árbol de levas, también puede accionar otros componentes dependiendo del tipo de motor, como la bomba de agua, la bomba de inyección en el caso de motores diésel, entre otros (Saralegui & Mariano, 2019, p. 10).

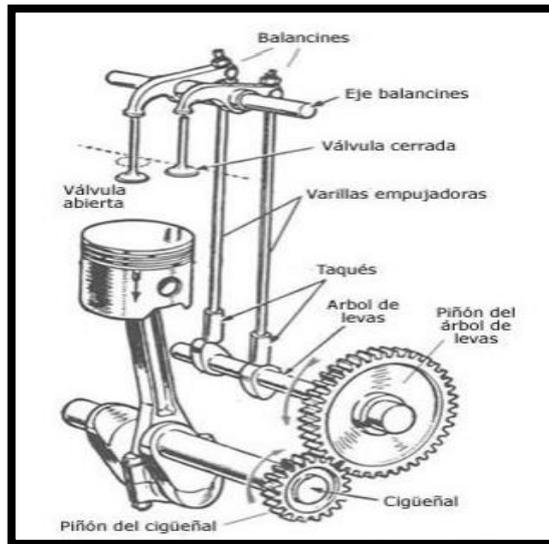
### 2.2.9.1 *Transmisión por rueda dentada*

Cuando la distancia entre el cigüeñal y el árbol de levas es reducida, la transmisión se efectúa mediante dos piñones en toma constante, manteniendo la relación dimensional ya mencionada. En este escenario, es importante considerar que ambos árboles giran en direcciones opuestas, lo cual debe tenerse en cuenta al realizar la sincronización de la distribución y el encendido (Saralegui & Mariano, 2019, pp. 10-11).

En el caso de que la distancia entre el cigüeñal y el árbol de levas sea significativamente mayor y no permita un acoplamiento directo de dos ruedas, se recurre comúnmente a la instalación de un tren sencillo de engranajes con una rueda intermedia. Este diseño implica la presencia de un piñón intermedio que gira libremente entre el piñón del cigüeñal y el piñón del árbol conducido. Cabe destacar que este piñón intermedio no influye en la relación de transmisión, por lo que el número de dientes de esta rueda es secundario, aunque suele ser igual al número de dientes del piñón conducido (Saralegui & Mariano, 2019, pp. 10-11).

En este diseño, ambos árboles giran en la misma dirección debido a que la rueda intermedia modifica el sentido de rotación proporcionado por el cigüeñal. Para lograr una transmisión lo más silenciosa posible, se utilizan piñones de dientes helicoidales, que, al tener una mayor área de contacto, ofrecen una mayor cobertura y, por ende, un engrane más suave y continuo. En ocasiones, para mejorar la suavidad del funcionamiento, estos piñones se lubrican con aceite y se montan dentro de un cárter herméticamente cerrado conocido como cárter de la distribución (Saralegui & Mariano, 2019, pp. 10-11).

En los motores destinados a automóviles, es común fabricar el piñón intermedio de material plástico para evitar el contacto directo entre ruedas metálicas. En motores modernos con árbol de levas en la culata, se pueden encontrar sistemas de distribución accionados por piñones. Debido a la considerable distancia entre el cigüeñal y el árbol de levas, se requieren múltiples piñones intermedios para transmitir el movimiento entre los diversos componentes del motor (Saralegui & Mariano, 2019, pp. 10-11).



**Ilustración 2-14:** Accionamiento de distribución por piñón

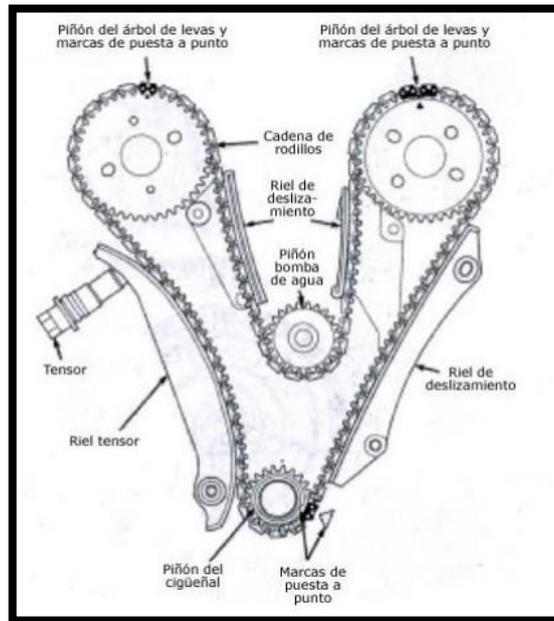
Fuente: Saralegui & Mariano, 2019.

#### 2.2.9.2 Transmisión por cadena de rodillos

La cadena desempeña la función de transmitir el movimiento entre el cigüeñal y el árbol de levas, sin importar la distancia que los separe. Por lo tanto, se puede emplear tanto si el árbol de levas está ubicado en el bloque del motor como en la culata (Saralegui & Mariano, 2019, p. 12).

El sistema de distribución mediante cadena implica dos piñones principales en el cigüeñal y el árbol de levas. El piñón del cigüeñal impulsa la cadena, que a su vez mueve los demás piñones. Aunque la cadena ofrece la ventaja de una larga duración y requiere menos mantenimiento, presenta el inconveniente de desgastarse con el tiempo, lo que provoca un alargamiento y, como resultado, un desplazamiento en la distribución y un aumento en el nivel de ruido. Estos problemas son más notorios en cadenas más largas. Las cadenas utilizadas para la distribución pueden ser de rodillos o cadenas silenciosas (Saralegui & Mariano, 2019, p. 12).

Se emplea un tensor de cadena para mantener la tensión de la cadena y compensar los efectos del desgaste. Mientras la cadena arrastra los diferentes piñones que constituyen el mecanismo de distribución, se mantiene tensa en un extremo y destensada en el otro. El tensor se instala en la parte destensada, y su posición depende del sentido de giro del motor (Saralegui & Mariano, 2019, p. 12).



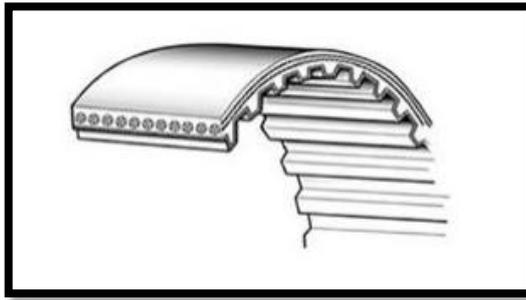
**Ilustración 2-15:** Distribución por cadena

Fuente: Saralegui & Mariano, 2019.

### 2.2.9.3 Acondicionamiento por correa dentada

Es el método de transmisión más empleado en la actualidad. Aunque cuenta con la ventaja de ser relativamente económico y de generar una transmisión completamente silenciosa, presenta la desventaja de tener una duración más limitada, generalmente entre 80.000 y 120.000 kilómetros, en los motores modernos, es común colocar el árbol de levas en la culata (OHC, DOHC), lo que implica utilizar correas de distribución de considerable longitud para el accionamiento. Estas correas están fabricadas con caucho sintético y fibra de vidrio (neopreno), lo que les proporciona flexibilidad para adaptarse a las poleas de arrastre sin sufrir estiramientos ni alteraciones en sus dimensiones. Además de su funcionamiento silencioso, estas correas son más ligeras, fáciles de reemplazar y no requieren lubricación (Saralegui & Mariano, 2019, p. 13).

La estructura de estas correas es compleja, fabricada con vitrofibra o con alma de acero laminado trenzado (cuerdas longitudinales) recubierta de caucho sintético o neopreno, resistente al desgaste. El dorso exterior de la correa está confeccionado con un material, como el policloropreno, que ofrece resistencia a la abrasión y a las acciones de agentes externos, como el aceite. Los dientes de la correa, que pueden ser redondeados o trapezoidales, están moldeados en la pieza para lograr una tolerancia reducida y un revestimiento muy resistente, garantizando así una larga vida de funcionamiento sin estirarse significativamente con el uso (Saralegui & Mariano, 2019, p. 13).



**Ilustración 2-16:** Correa dentada

Fuente: Saralegui & Mariano, 2019.

### **2.2.10 Sincronización de las válvulas**

Es esencial resaltar los siguientes aspectos:

- La apertura de la válvula de admisión debe ocurrir antes del Punto Muerto Superior (P.M.S.), es decir, antes de que el pistón comience su descenso durante la fase de admisión.
- La válvula de admisión permanece abierta significativamente después del Punto Muerto Inferior (P.M.I.), durante la compresión, para aprovechar la velocidad de los gases entrantes. Esto contribuye a introducir una cantidad adicional de la mezcla de aire y combustible en el cilindro.
- La regulación del rango de revoluciones del motor se realiza a través del momento de cierre de la válvula de admisión. Si se cierra más tarde, entra más combustible en el cilindro, aumentando así las revoluciones.
- El punto de cierre de la válvula de admisión también influye en la relación de compresión efectiva, en contraposición a la relación de compresión estática. Un cierre más tardío de la válvula reduce la compresión real del motor.
- La válvula de escape debe abrirse considerablemente antes de que concluya el tiempo de explosión, liberando la presión de los gases en expansión en el cilindro antes de que el pistón inicie su ascenso durante la fase de escape.

La potencia del motor no se ve afectada por la apertura temprana de las válvulas de escape, ya que la mayoría de la potencia de los gases en explosión se transfiere al pistón durante el tiempo de explosión. La válvula de escape debe estar prácticamente totalmente abierta cuando el pistón

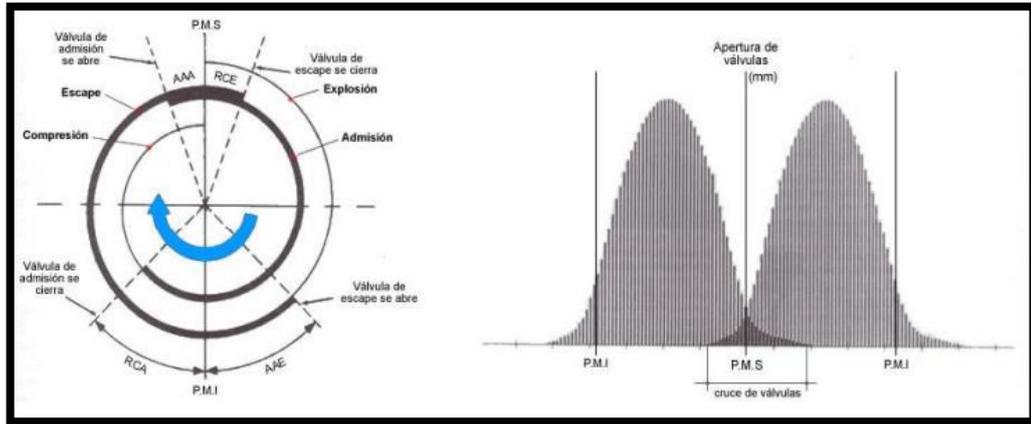
alcanza su velocidad máxima para evitar resistencia al movimiento causada por la presión del gas de admisión, lo que evitaría pérdidas de bombeo (Saralegui & Mariano, 2019, p. 13).

### ***2.2.11 Cruce de válvulas***

El traslape de las válvulas ocurre al inicio del tiempo de admisión, cuando la válvula de admisión ya está abierta y la de escape aún no se ha cerrado por completo. En motores estándar, el traslape de válvulas oscila entre 15 y 30 grados de giro del cigüeñal, mientras que, en los vehículos de competición, los árboles de levas pueden tener traslape que van desde 60 hasta 100 grados. Un traslape adicional proporciona un llenado más eficiente del cilindro a altas revoluciones, pero puede resultar en un vacío reducido en el motor a bajas revoluciones, afectando la calidad de marcha en ralentí y la economía de combustible a velocidades más bajas (Saralegui & Mariano, 2019, p. 14).

Abrir la válvula de admisión demasiado pronto puede deteriorar la calidad de marcha en ralentí sin mejorar significativamente el rendimiento a altas revoluciones. La velocidad máxima del pistón durante el tiempo de admisión se alcanza antes de la apertura completa de la válvula, por lo que abrir la válvula demasiado pronto podría mejorar la capacidad de respiración del motor. El factor crítico que afecta al rendimiento a altas revoluciones es el cierre de la válvula de escape. Incrementar el tamaño de la válvula de escape y su abertura no se considera generalmente óptimo para obtener más potencia, ya que la válvula de escape limita el flujo procedente del cilindro a medida que se cierra.

Un traslape de válvulas elevado puede generar problemas de holgura entre la válvula y el pistón, llegando incluso a tocarse. Sin embargo, la elevada elevación de las válvulas no suele causar este problema, ya que el pistón se encuentra en una posición baja dentro del cilindro cuando la válvula está completamente abierta. Reducir el traslape de las válvulas aumenta la presión en el cilindro a revoluciones más bajas (Saralegui & Mariano, 2019, p. 14).

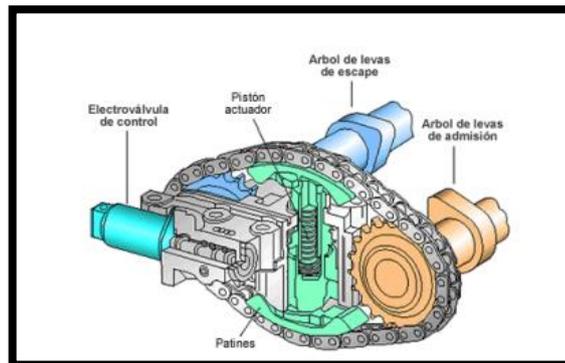


**Ilustración 2-17:** Distribución y grafica de elevación y cruce de válvulas

Fuente: Saralegui & Mariano, 2019.

### 2.2.12 Distribución variable

Cuando el motor está operando a baja velocidad en ralentí, la válvula de obturación se encuentra completamente cerrada, generando un fuerte vacío en el colector de admisión. En motores sin control variable de válvulas (VVT), durante el solapamiento de válvulas, una cantidad de gases de escape ingresan al colector de admisión, resultando en una mezcla empobrecida que llena los cilindros durante la carrera de admisión y contribuye a una marcha en ralentí inestable. Para abordar esta limitación en los motores convencionales, se opta por aumentar las revoluciones por minuto (RPM) del motor al enriquecer la mezcla en ralentí, aunque esto se traduce en un mayor consumo de combustible (Saralegui & Mariano, 2019, p. 16).



**Ilustración 2-18:** Variador de fases

Fuente: Saralegui & Mariano, 2019.

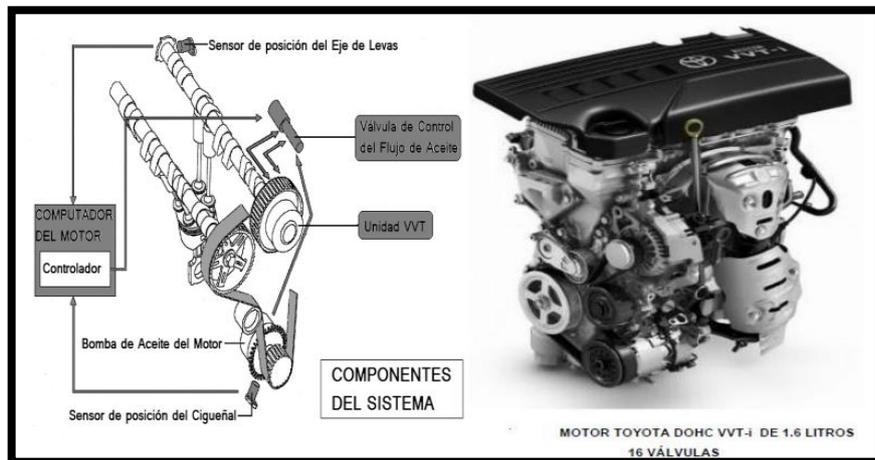
Mediante el uso del VVT, se logra retrasar la apertura de las válvulas de admisión para evitar la entrada de gases quemados al colector de admisión y, al mismo tiempo, se evita enriquecer la mezcla durante el ralentí. Esto representa la primera ventaja del VVT, ya que permite un mayor ahorro de combustible al posibilitar que el motor funcione a RPM muy bajas. Durante la aceleración, el VVT adelanta el tiempo de apertura de las válvulas de admisión más allá de lo que se establecería en un motor sin VVT (Saralegui & Mariano, 2019, p. 16).

Aunque podría pensarse que la entrada de gases de escape afectaría el rendimiento del motor, las RPM aumentan en este momento, y los gases de escape ofrecen beneficios como la reducción del esfuerzo de los pistones, mejorando el llenado de los cilindros, y la disminución de las emisiones de CO y HC debido al retorno de estos gases al múltiple de admisión. Además, el retorno de los gases de escape por el cilindro contribuye a enfriar la cámara de combustión, previniendo la producción de Nox y resultando en emisiones más limpias, marcando así la segunda ventaja del VVT. Cuando el motor opera a altas RPM, como en maniobras de adelantamiento, el VVT permite un adelanto mayor en la apertura de las válvulas de admisión, mejorando el llenado de los cilindros en comparación con un motor convencional. A pesar del adelanto en el cierre de las válvulas, los cilindros ya se han llenado completamente. Además, cuando el motor gira a altas velocidades, se genera vacío en el escape, evitando que los gases de escape ingresen al colector de admisión. Esto asegura que los cilindros se llenen con una mezcla óptima de aire y combustible, generando una potencia máxima, lo que constituye la tercera ventaja del VVT (Saralegui & Mariano, 2019, p. 16).

### ***2.2.13 Sistema inteligente de admisión variable (VVT-i)***

Este sistema, desarrollado por Toyota, se encarga de ajustar la posición del árbol de levas hasta un ángulo de 40° con respecto al cigüeñal. Este ajuste dinámico permite optimizar el torque y la potencia en función de la velocidad de giro del motor, generando mejoras tanto en altas como en bajas revoluciones. Además de estos beneficios de rendimiento, el sistema contribuye a la reducción del consumo de combustible y de emisiones contaminantes, como en la ilustración 2-19 (Chuquimia J, 2019, p. 27-28).

La ECM (Engine Control Module) es la unidad encargada de supervisar y controlar el funcionamiento de este componente. La información principal que utiliza proviene del CMP (Camshaft Position) o sensor de posición del árbol de levas. Además, se valora la información de otros sensores, como el flujo de aire (MAF), la posición de la mariposa de aceleración (TPS), la posición del cigüeñal (CKP), la velocidad del vehículo (VVS) y la temperatura del refrigerante (ECT) (Chuquimia J, 2019, pp. 27-28).



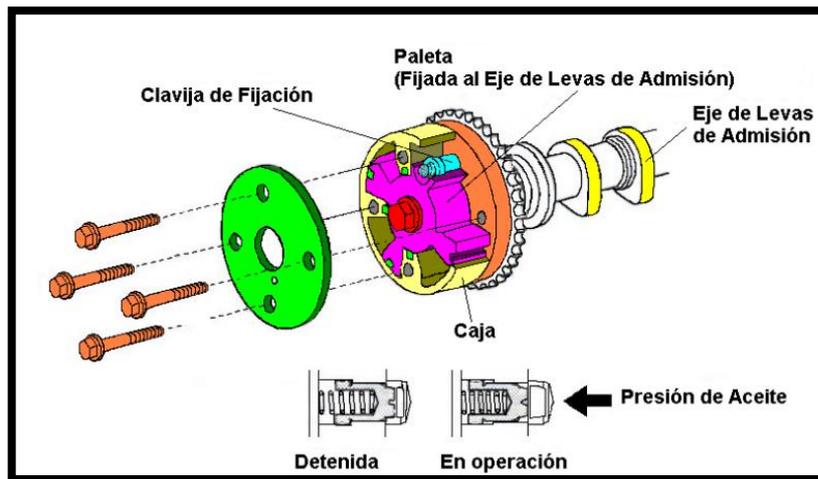
**Ilustración 2-19:** Sistema inteligente de admisión variable Toyota VVT-i

Fuente: Chuquimia, 2019.

### 2.2.13.1 Controlador

El regulador o variador de fase, accionado por la cadena de distribución, transmite el movimiento al árbol de levas. La presión de aceite generada por el motor se dirige a este dispositivo, que ajusta la posición del árbol de levas según la velocidad del motor y las demandas del conductor. Esta presión entra en las cavidades del regulador, induciendo un movimiento circular en sentido horario o antihorario (Chuquimia J, 2019, p. 28).

En situaciones de bajas revoluciones del motor o durante el encendido, el árbol de levas se retrasa para proporcionar estabilidad y un elevado torque necesario para arrancar y operar a velocidades más bajas (Chuquimia J, 2019, p. 28).



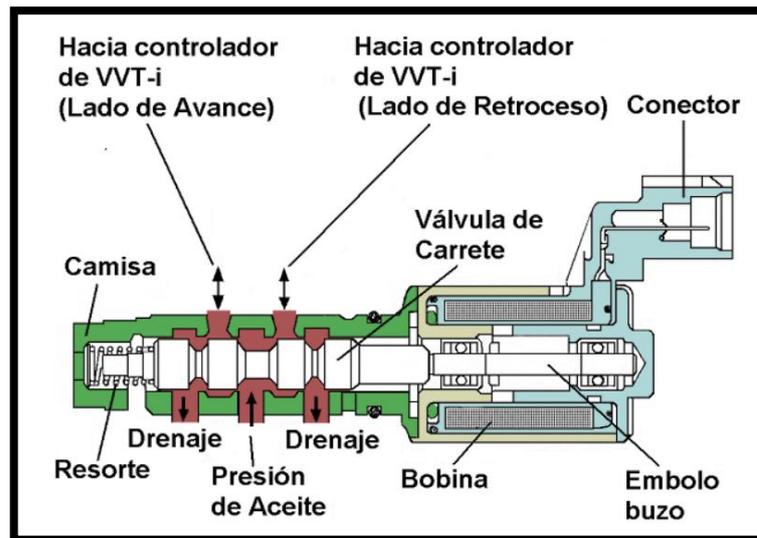
**Ilustración 2-20:** Controlador VVT-i

Fuente: Chuquimia, 2019.

### 2.2.13.2 Válvula de control de aceite

Esta válvula, bajo el control de la ECM, administra la distribución de aceite a las cámaras del regulador, permitiendo su giro en respuesta a las necesidades del motor, ya sea para avanzar o retrasar el árbol de levas. Además, tiene la capacidad de controlar tanto el movimiento como la retención o estacionamiento del árbol de levas, ajustándose según las señales que recibe de la ECM (Chuquimia J, 2019, p. 29).

Operando a través de una válvula solenoide que desplaza un pistón, facilita el flujo de la presión de aceite hacia la galería del regulador, abriendo el orificio de retorno o drenaje en la otra galería para provocar el giro del árbol (avance). Cuando el solenoide está inactivo, la presión de aceite se mantiene en ambas galerías, fijando el ángulo del árbol. En caso de inversión de la válvula, el movimiento es opuesto (atraso) (Chuquimia J, 2019, p. 29).



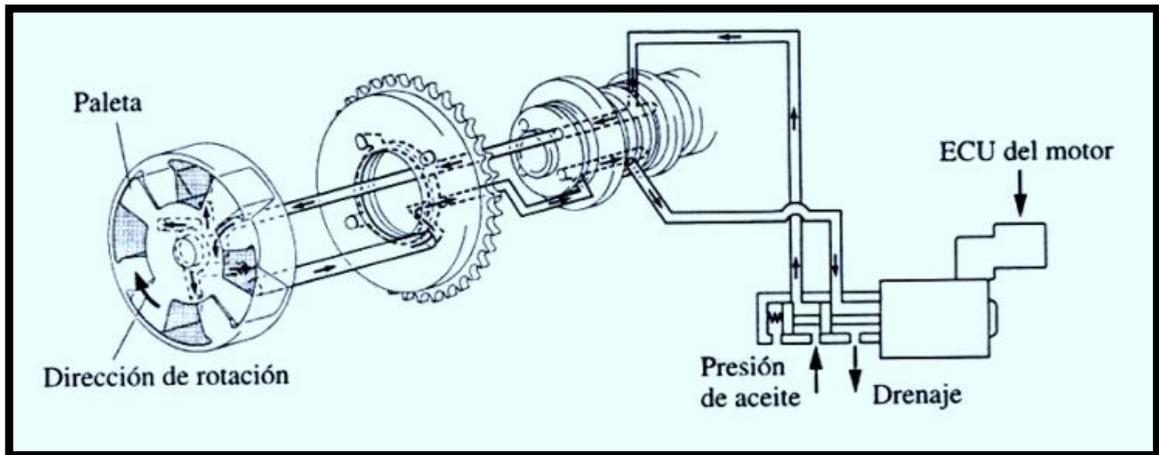
**Ilustración 2-21:** Válvula de control de aceite

Fuente: Chuquimia, 2019

## 2.2.14 Funcionamiento del VVT-i

### 2.2.14.1 Avance

La operación del avance del árbol se coordina mediante la ECM, que activa el solenoide de la válvula de control del convertidor. Al recibir corriente, el solenoide se energiza, desplazando un pistón que comprime el resorte de estacionamiento y facilita el flujo de presión de aceite del motor a través del orificio hacia la galería del convertidor. Simultáneamente, se abre el orificio que controla la otra galería para permitir el retorno de aceite, generando una fuerza hidráulica que impulsa al árbol de levas a girar hacia las paletas. Este movimiento resulta en un giro antihorario del árbol, produciendo un adelanto de la válvula de admisión (AAA) (Chuquimia J, 2019, p. 30).

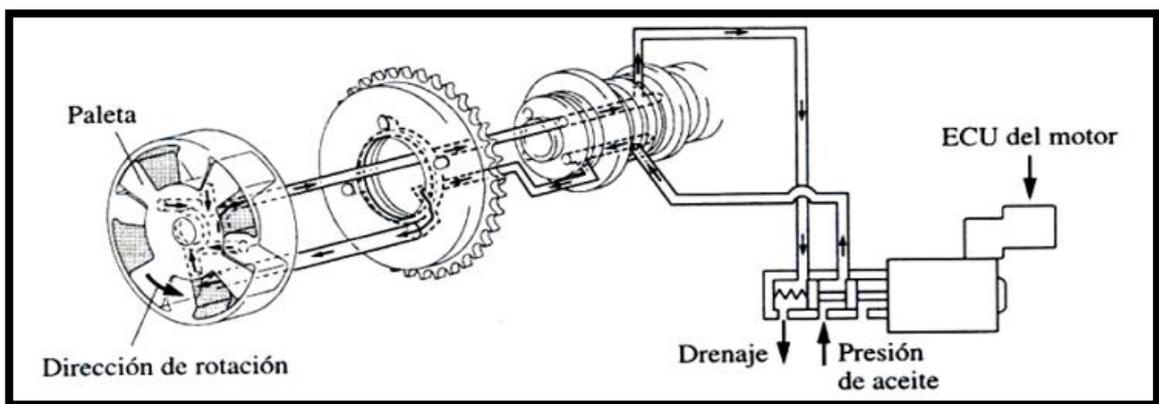


**Ilustración 2-22:** Avance VVT-i

Fuente: Chuquimia, 2019.

#### 2.2.14.2 Retraso

El proceso de retraso del árbol es gestionado por la ECM, que invierte la corriente suministrada al solenoide de la válvula de control del convertidor. Al activarse, el solenoide impulsa un pistón en la dirección opuesta, comprimiendo el resorte de estacionamiento y permitiendo el flujo de presión de aceite del motor a través del orificio hacia la galería del convertidor. Simultáneamente, se abre el orificio que controla la otra galería para facilitar el retorno de aceite, generando una fuerza hidráulica que impulsa al árbol de levas a girar hacia las paletas. Este movimiento resulta en un giro horario del árbol, ocasionando un retraso en la apertura de la válvula de admisión (Chuquimia J, 2019, p. 30).

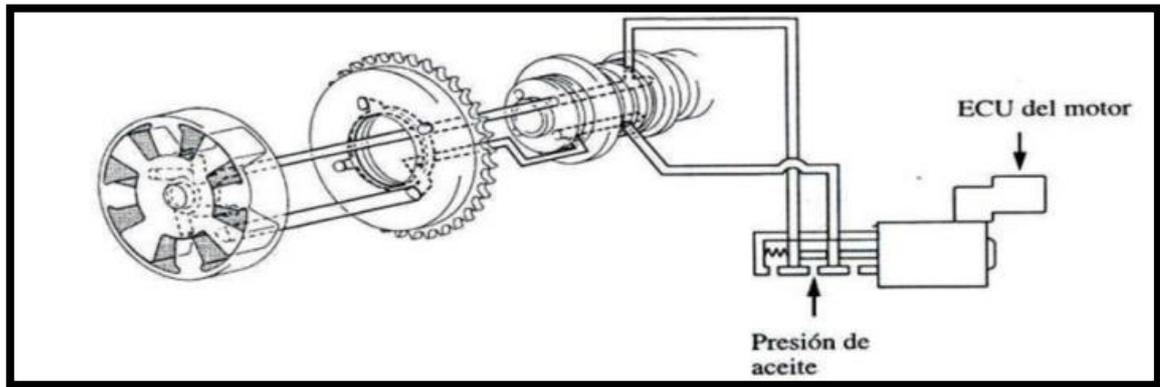


**Ilustración 2-23:** Retraso VVT-i

Fuente: Chuquimia, 2019.

#### 2.2.14.3 Retención

Durante la retención, la válvula solenoide permanece sin recibir energía, permitiendo que los muelles desplacen el pistón hasta que sus paredes obstruyan los orificios que conectan las galerías con el retorno y la presión de aceite. En esta situación, ambas galerías retienen el aceite de manera constante y mantienen el ángulo del árbol de acuerdo con la señal proporcionada por la ECM (Chuquimia J, 2019, p. 32).



**Ilustración 2-24:** Retención VVT-i

Fuente: Chuquimia, 2019.

### 2.2.15 ECU

La unidad de control ECU cuenta con la capacidad para gestionar diversas funciones en el vehículo, ofreciendo un control sofisticado y la máxima precisión posible. Algunas de las funciones que la ECU maneja son:

- **Controlar la inyección de gasolina:** la ECU calcula la proporción de gasolina que se inyectará según los parámetros recopilados. Cuando se presiona a fondo el acelerador, la ECU recibe esta señal y ajusta la inyección de combustible de acuerdo con la cantidad de aire que ingresa al motor. Además, cuando el motor está frío, la ECU enriquece la mezcla para alcanzar la temperatura necesaria para un rendimiento óptimo (Montero C & Paguay F, 2021, p. 14).
- **Gestionar el tiempo de inyección:** Los motores de encendido dependen de una chispa eléctrica en la cámara de combustión para iniciar el proceso de combustión. La ECU ajusta el momento preciso de encendido para proporcionar más potencia y, de tal manera ayuda a reducir el consumo de combustible (Montero C & Paguay F, 2021, p. 15).
- **Supervisar la distribución de válvulas:** En algunos motores con sincronización de válvulas, una unidad de control electrónica regula el tiempo de apertura de las válvulas durante el ciclo del motor. En otras palabras, las válvulas se abren a una velocidad mayor en

comparación con velocidades más bajas, optimizando el flujo de aire hacia los cilindros, aumentando la potencia y evitando una combustión deficiente del combustible (Montero C & Paguay F, 2021, p. 15).

- **Control de la bomba de combustible en ralentí:** La ECU administra el voltaje suministrado a la bomba de combustible, pudiendo reducir el voltaje aplicado para disminuir el ruido de la bomba y reducir el consumo de energía eléctrica durante el ralentí.
- **Autodiagnóstico:** La ECU verifica la normalidad y el rendimiento óptimo de las señales de entrada y salida del sistema (Montero C & Paguay F, 2021, p. 15).
- **Control del ralentí:** En presencia de muchos interruptores de carga activados o un voltaje bajo en la batería, la ECU incrementa el régimen de marcha en vacío (Montero C & Paguay F, 2021, p. 15).
- **Regulación de la presión:** Cuando la temperatura del refrigerante es elevada durante el funcionamiento del motor, la ECU ajusta eventualmente la presión de combustible (Montero C & Paguay F, 2021, p. 15).

#### ***2.2.16 ECU programable***

Los avances en los componentes de preparación del motor, tales como los sistemas turbo, los sistemas de inyección y los cuerpos de mariposa individuales, junto con la accesibilidad de estas configuraciones para usuarios no profesionales, han revelado las limitaciones de las ECUs originales. En respuesta a esto, han surgido y se han adoptado las ECUs programables. Estas unidades de control programables permiten ajustar y modificar de manera más eficaz los parámetros convencionales del motor, como la inyección de combustible y el avance del tiempo de encendido, entre otros (Montero C & Paguay F, 2021, p. 16).

La necesidad de una ECU programable surge en situaciones donde se requiere una modificación sustancial en el rendimiento final del motor. Esto implica ajustar características operativas del motor, permitiendo modificar aspectos como la cantidad de gasolina inyectada en los cilindros, la mezcla óptima de oxígeno y combustible, o parámetros específicos exigidos por el vehículo. En tales casos, una ECU convencional no ofrece un control adecuado para adaptarse a las nuevas configuraciones. Por lo tanto, una ECU programable se presenta como una alternativa confiable, ya que permite la programación (o mapeo) a través de la conexión de un cable USB a un ordenador, siempre que el interruptor del vehículo esté encendido (Montero C & Paguay F, 2021, p. 16).

### 2.2.16.1 Fueltech FT450

Una computadora FuelTech desempeña la función principal de supervisar los sistemas electrónicos del motor de un vehículo con el objetivo de incrementar y optimizar su rendimiento. Esto se logra mediante modificaciones en el desempeño y funcionamiento del vehículo, ayuda a generar modificaciones en los tiempos de inyección y variar las válvulas de distribución para mejorar el rendimiento del motor deseado (García D, 2022, pp. 9-10).

**Tabla 2-1:** Especificaciones generales y técnicas de la ECU programable Fueltech FT450

<b>Generales</b>	Control de motores ciclo Otto(cilindros)	1-8
	Programación en tiempo real	PC
	Chasis	Aluminio impermeable
	Peso	270 gr
	Dimensiones	(146 x 92 x 54) mm
	Resolución de tiempo de inyección	0.001 ms
	Resolución de tiempo de ignición	0.1 ms
	Canales de entrada	7
	Canales de salida	10
<b>Técnicas</b>	Canales internos de datalogger	256
	Resolución de datalogger	200 Hz
	Puertos CAN BUS	1

Fuente: García D, 2022.

Realizado por: Martínez C, 2023.

### 2.2.16.2 Mega Squirt 3 pro

Desarrollado sobre la base de la plataforma MS3Pro de primera generación, el MS3Pro Ultimate lleva las capacidades a un nivel superior, mejorando el ya asombroso conjunto de características de MS3Pro. Esto se inicia con una nueva carcasa de aluminio de alta calidad, resistente al agua y con clasificación IP65. El MS3Pro Ultimate ofrece 10 canales de inyector de pico y retención programables, capaces de controlar inyectores saturados (alta impedancia) o de pico y retención (baja impedancia). Además, proporciona una amplia variedad de entradas y salidas adicionales,

eliminando la necesidad de otros controladores y simplificando el sistema sin agregar complejidad o peso innecesario (MegaSquirt, 2023).

Diseñado para aplicaciones atmosféricas y potenciado con sensores de presión barométrica y MAP de 4 bares integrados, el MS3Pro Ultimate está preparado para manejar diversas combinaciones de motores sin esfuerzo. No requiere un sistema de adquisición de datos separado, ya que puede registrar hasta 32 canales a 200 Hz. El software TunerStudio avanzado ofrece una experiencia de ajuste intuitiva tanto para profesionales como para entusiastas, con estrategias de tabla de combustible de autoaprendizaje y autoajuste de primera clase (MegaSquirt, 2023).

El MS3Pro Ultimate es compatible con una amplia variedad de motores, con capacidad para controlar hasta 10 cilindros con inyección secuencial de combustible o un motor Wankel de cuatro rotores con salidas de encendido delanteras y traseras separadas. Admite más de 50 modos de encendido diferentes, desde aplicaciones convencionales como los motores GM LS (24x y 58x), Ford Coyote (incluido VVT), Bosch Motronic y Chrysler Gen III Hemis (MegaSquirt, 2023).



**Ilustración 2-25:** ECU MS3 Pro

Fuente: MegaSquirt, 2023.

### 2.2.16.3 Haltech Elite 1500

Gracias a la tecnología digital contemporánea, se abren incontables posibilidades para el control de los vehículos. La función de una unidad de control electrónica Haltech es potenciar y optimizar el rendimiento de los motores mediante el control de sistemas como encendido, revoluciones y

combustible. Estos sistemas permiten realizar ajustes para mejorar el rendimiento y la afinación del vehículo (Morales R, 2012. pp. 4-10).

Haltech ha desarrollado módulos de control que incluyen programas diseñados para ajustar las curvas de ignición y combustible de diversos vehículos, mejorando su rendimiento. La empresa ofrece sistemas con una amplia gama de funciones, y aunque los módulos más básicos ya incluyen tecnología avanzada, también cuentan con versiones más sofisticadas. La ingeniería electrónica se ha centrado significativamente en el desarrollo electrónico automotriz, y el progreso de Haltech en el uso de las ECUs está vinculado al manejo de datos proporcionados a la computadora desde sensores fuera del vehículo (Morales R, 2012. pp. 4-10).

Los cambios más notables se han producido en la motorización, al incorporar una unidad de control capaz de realizar cálculos en tiempo real para aspectos como encendido, avance, dosificación de combustible y la captura de datos de sensores de motor, así como el envío de señales a actuadores correspondientes. En situaciones donde se realizan modificaciones sustanciales en el motor y las demandas varían para el rendimiento final, el uso de Haltech 1500 se vuelve necesario. Esto se debe a que las antiguas ECUs originales pueden carecer de un control integral para estas nuevas configuraciones. En tales casos, la ECU Haltech proporciona una solución, ya que puede programarse (mapearse) conectándola a un ordenador portátil mediante un cable USB mientras el motor está en funcionamiento (Morales R, 2012. pp. 4-10).



**Ilustración 2-26:** ECU Elite 1500

Fuente: Haltech, 2020.

## CAPITULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Diagrama de etapas del proyecto



**Ilustración 3-1:** Diagrama de etapas del proyecto

Fuente: Martínez C, 2023.

#### 3.2 Metodología de la investigación a realizar

##### 3.2.1 Tipo de estudio

Para realizar el presente proyecto de investigación sobre el comportamiento de la válvula VVT-i de un motor 1zz Toyota. Se requiere utilizar una metodología de tipo inductivo, de tal manera que se requiere obtener datos de manera estática y dinámica los cuales ayudarían a comprender de mejor manera como mejora el rendimiento del motor con la adecuación.

- **Inductivo:** Este enfoque se emplea en la lógica y la investigación científica con el fin de derivar conclusiones generales a partir de observaciones específicas. Su base reside en la capacidad de deducir principios generales o leyes a partir de casos particulares. En este método, se recopilan datos o evidencias mediante la observación y la experiencia, los cuales se examinan para identificar patrones, tendencias o regularidades.

Para llevar a cabo el proyecto, es esencial llevar a cabo un examen detallado de los objetivos específicos. Esto contribuirá a una comprensión más profunda del resultado deseado, permitiendo formular preguntas clave que orienten hacia el método de investigación adecuado, así como las técnicas e instrumentos necesarios para su ejecución.

### 3.3 Planificación o cronograma de actividades

**Tabla 3-1:** Cronograma

ID	NOMBRE DE LA TAREA	FECHA DE INICIO	FECHA DE FIN
1	Revisión de fuentes bibliográficas.	10/10/2023	20/10/2023
2	Revisión de ECU compatible.	20/10/2023	30/10/2023
3	Compra de materiales para la instalación.	30/10/2023	13/11/2023
4	Comprobar el funcionamiento de los sensores.	13/11/2023	24/11/2023
5	Programar ECU.	24/11/2023	11/12/2023
6	Realizar adecuaciones para la ECU.	11/12/2023	23/12/2023
7	Instalar nuevo cableado.	02/01/2024	12/01/2024
8	Verificar continuidad de cableado.	12/01/2024	22/01/2024
9	Instalar ECU.	22/01/2024	02/02/2024
10	Comprobar funcionamiento de la ECU instalada.	02/02/2024	12/02/2024
11	Realizar pruebas estáticas y dinámicas.	12/02/2024	22/02/2024

Fuente: Martínez C, 2023.

### 3.4 Recursos y materiales

Para la elaboración de este proyecto de titulación, se utilizaron innumerables recursos y materiales que contribuyeron a realizar el trabajo de manera más precisa y eficaz. Esto incluyó la mejora del banco de pruebas y la implementación de varios tipos de inyectores.

**Tabla 3-2:** Materiales

MATERIAL	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Llaves	Juego de llaves milimétricas	Para realizar ajuste y desajuste de pernos y tuercas
Rachas	Juego de dados para rache	Para realizar ajuste y desajuste de pernos y tuercas
Fusibles	Micro fusibles de 20 amperios.	Para proteger los elementos eléctricos en casos de una tensión elevada y descontrolada.

Relés	Relés de 12 voltios.	Para proteger los elementos eléctricos en casos de una tensión elevada y descontrolada.
Cable	Cable flexible calibre 8 para instalaciones.	Sirve para realizar el cableado nuevo de conexión a la ECU, tanto para inyectores, bobinas, CKP, CMP, y sensores.
ECU MEGASQUIRT MS3	ECU programable para mejorar parámetros.	Con este modelo de ECU programable se realizara la modificación del VVT-i
Osciloscopio	Osciloscopio automotriz de corriente continua y alterna.	Sirve para poder detectar y diagnosticar las señales de los sensores y actuadores.
Scanner Automotriz	Scanner automotriz OBDII	Sirve para detectar fallos (DTC), y obtener datos en vivo sobre el estado de los componentes del sistema.
Voltímetro	Voltímetro digital.	Sirve para poder medir los valores de voltaje de alimentación y activación de los sensores y actuadores presentes.
Manómetros	Manómetros analógicos.	Nos ayudará a medir la compresión que tenemos en cada uno de los cilindros
Socket	Conector para bobinas, inyectores.	El Socket nos ayudará a realizar nuevas conexiones para evitar dañar el mazo de cables original.

Fuente: Martínez C, 2023.

### 3.5 Equipos

Para poder realizar este tipo de proyecto se requiere diferentes tipos de equipos debido a la modificación que se va a realizar, esto conlleva una serie de procesos que nos ayudarían a obtener datos específicos de su mejora y su correcto funcionamiento.

Para iniciar este proyecto, se debe realizar una investigación profunda sobre el funcionamiento de la distribución variable en este caso ocupada por Toyota VVT-i. Una vez investigada este tipo de distribución procedemos a verificar ECUs compatibles para este sistema, y que nos ayude a mejorar el rendimiento del vehículo.

Una vez que realicemos las instalaciones de la ECU y los cableados correspondientes, se procede a realizar pruebas dinámicas y estáticas, para las pruebas estáticas se debe realizar en un dinamómetro el cual nos ayudaría a obtener datos reales del vehículo.

### 3.6 Recursos humanos

**Tabla 3-3:** Recursos humanos

<b>ROLES</b>	<b>OPERACIÓN</b>	<b>ENCARGADOS</b>
Investigador	Leer e informarse en fuentes bibliográficas fiables toda la información posible acerca del tema del proyecto. Presentar las ideas y recomendaciones referente a los temas leídos y estudiados.	Christian Martínez.
Planificador	Crear un plan para poder desarrollar las actividades con un buen tiempo. Desarrollar los parámetros y tareas que se realizarán a lo largo del proyecto. Planificar las salidas estratégicas a laboratorios o consultas externas.	Christian Martínez.
Operador	Realizar las tareas antes propuestas en la planificación.	Christian Martínez.

	Realizar cada cambio o mejora que surja en el proyecto.	
Revisión y seguimiento	Sugerir mejoras o correcciones en la elaboración del proyecto. Solicitar informes y evidencia sobre el avance del proyecto. Revisar semanalmente los avances del proyecto.	Ing. Javier Solís Ing. Ángel Quevedo
Consulta externa	Ayuda y orientación precisa en temas puntuales. Ayudar con herramientas especiales o maquinaria para comprobaciones de elementos.	Ing. Paúl Montufar Ing. Javier Solís Ing. Ángel Quevedo

Fuente: Martínez C, 2023.

### 3.7 Desarrollo del Proyecto

#### 3.7.1 Instalación MEGASQUIRT PRO

El Megasquirt MS3 competición, es la unidad más avanzada hasta la fecha, destaca por su gran versatilidad y capacidad para adaptarse a múltiples configuraciones. Hemos realizado mejoras en varias de sus características, consideradas esenciales. Por ejemplo:

- Se han optimizado las entradas para los sensores de posición del cigüeñal, así como para el sensor de levas principal y el secundario.
- Las salidas de encendido han sido mejoradas para ser compatibles con la mayoría de las bobinas digitales, incluyendo las reconocidas bobinas VAG usadas en motores TFSi y TSI.
- Ahora es posible integrar controladores de encendido para bobinas de alta potencia directamente dentro de la unidad, lo cual elimina la necesidad de utilizar costosos módulos externos.
- Incorporamos directamente en los conectores, entradas y salidas que antes no estaban disponibles en la placa V3.
- Hemos incluido en el conector entradas y salidas preinstaladas para facilitar futuras expansiones.
- Ofrecemos la opción de instalar internamente circuitos para sensores de ABS inductivos.

### *3.7.1.1 Recomendaciones generales de instalación*

Antes de proceder con la conexión de la ECU, es fundamental revisar algunas recomendaciones esenciales para la instalación eléctrica. Los sistemas de encendido y de inyección electrónica son susceptibles a problemas debido a interferencias electromagnéticas, y no tomar las precauciones necesarias puede resultar en fallos complejos de diagnosticar. Es importante seguir estas instrucciones para evitar inconvenientes como fluctuaciones en el voltaje de la batería, ruido en las señales de los sensores, inestabilidad en la señal de revoluciones, desconexiones entre la ECU y el PC, lo que puede generar frustración. Una instalación cuidadosa es clave para un funcionamiento óptimo y para evitar la búsqueda de fallos "fantasma" en el sistema electrónico. Conecte las masas directamente al bloque del motor, preferiblemente en el mismo punto donde la batería está conectada a tierra. Si ha reubicado la batería, asegúrese de llevar un cable desde ella hasta el bloque del motor, utilizando un cable más grueso si el recorrido es largo. Antes de conectar las masas, limpie cualquier rastro de pintura, grasa o suciedad.

Evite agrupar todas las conexiones a tierra en un solo cable hacia el bloque. Cada conexión a tierra en el conector de la ECU debe tener su propio cable directo al punto de tierra, donde se pueden unir en un terminal. Mantenga separado el cableado de la ECU de otros cables del vehículo, como los del alternador o del motor de arranque, para evitar interferencias. Esto incluye separar los cables de la ECU relacionados con las bobinas y sus conexiones a tierra. Las bobinas de encendido, que consumen entre 6 y 8 amperios, pueden ser una fuente significativa de problemas. Asegúrese de que estos cables sigan una ruta diferente a la de los sensores y la alimentación de la ECU.

Evite que el cableado de la ECU pase cerca de componentes que generen electromagnetismo, tengan un alto consumo de energía o trabajen con altos voltajes, como el motor de arranque, el alternador, las bobinas de encendido y los cables de bujía.

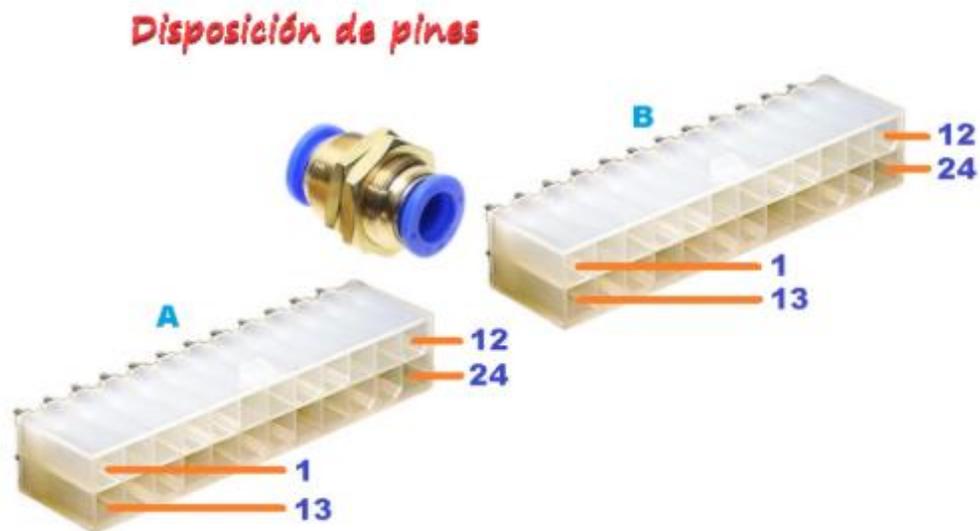
Revise y asegúrese del buen funcionamiento de componentes como el alternador, el motor de arranque, las bobinas de encendido y los cables de bujía. Muchos problemas en instalaciones provienen del mal estado de estos componentes.

Utilice cables de bujía adecuados para sistemas de inyección y compruebe su estado regularmente. Respete el diámetro y la distribución del cableado.

La conexión de la sonda de banda ancha generalmente implica cuatro cables, incluyendo alimentación +12V conectada al relé de la bomba de combustible para activarse solo con el motor en marcha, masa electrónica y del calentador (a menudo combinadas en sistemas modernos) conectadas al bloque del motor, y la señal AFR conectada a la ECU para monitorizar la mezcla aire-combustible.

### 3.7.2 Esquema general y conexión

La ilustración a continuación demuestra cómo están dispuestos los conectores de la unidad y detalla la función asignada a cada pin. Cada conector está marcado con el número correspondiente al pin en la zona donde se inserta el cable. Verifique su correcta orientación antes de comenzar.



**Ilustración 3-2:** Esquema eléctrico PinOut

Fuente: MegaSquirt, 2020.

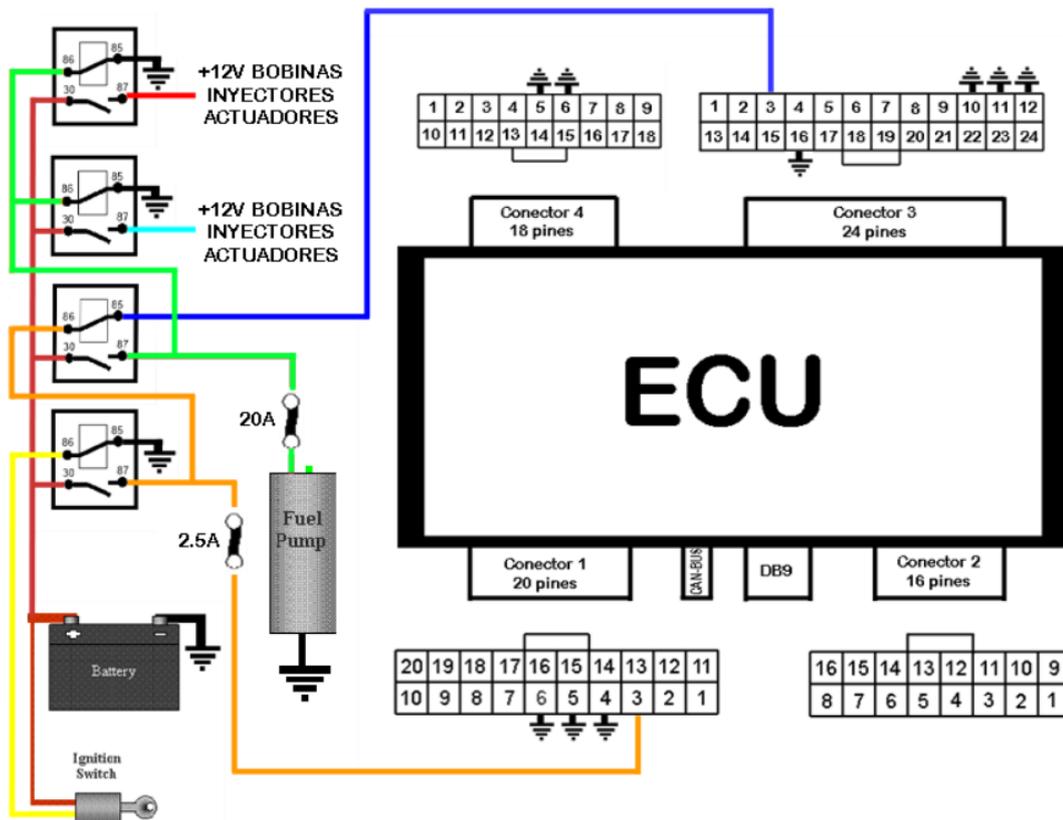
**Tabla 3-4:** Pinout

FICHA A		FICHA B	
1.-	+12V (alimentación de la ECU)	1.-	No usar
2.-	CKP+ (sensor de RPM cigüeñal +)	2.-	No usar
3.-	CMP+ (sensor levas+)	3.-	FP (control de relay de bomba de nafta)
4.-	HC1 (salida de alta corriente -5A)	4.-	IDLE (control de paso a paso de 2 cables o salida programable)
5.-	HC2 (salida de alta corriente -5A)	5.-	Inyector A
6.-	HC3 (salida de alta corriente -5A)	6.-	Inyector B
7.-	LC1 (salida de baja corriente -3A)	7.-	Inyector C
8.-	LC1 (salida de baja corriente -3A)	8.-	Inyector D
9.-	IAC1A (salida paso a paso de 4 cables)	9.-	Inyector E

<b>10.-</b>	IAC1B (salida paso a paso de 4 cables)	<b>10.-</b>	Inyector F
<b>11.-</b>	IAC2A (salida paso a paso de 4 cables)	<b>11.-</b>	Inyector G
<b>12.-</b>	IAC2B (salida paso a paso de 4 cables)	<b>12.-</b>	Inyector H
<b>13.-</b>	GND (masa alimentación ECU)	<b>13.-</b>	DI1 (entrada digital 1 de 5v)
<b>14.-</b>	CKP- (sensor de RPM cigüeñal -)	<b>14.-</b>	DI2 (entrada digital 2 de 5v)
<b>15.-</b>	CPM- (sensor levas -)	<b>15.-</b>	DI3 (entrada digital 3 de 5v)
<b>16.-</b>	CLT (sensor de temperatura de agua)	<b>16.-</b>	DI4 (entrada digital 4 de 12v)
<b>17.-</b>	IAT (sensor de temperatura de aire)	<b>17.-</b>	Chispa A
<b>18.-</b>	+5V (salida 5v para alimentar sensores)	<b>18.-</b>	Chispa B
<b>19.-</b>	GND (masa a motor)	<b>19.-</b>	Chispa C
<b>20.-</b>	TPS (señal de sensor TPS)	<b>20.-</b>	Chispa D
<b>21.-</b>	O2 (entrada de sonda lambda o wideband)	<b>21.-</b>	Chispa E
<b>22.-</b>	Tacómetro (salida para señal de tacómetro)	<b>22.-</b>	Chispa F
<b>23.-</b>	Entrada analógica 1	<b>23.-</b>	Chispa G
<b>24.-</b>	Entrada analógica 2	<b>24.-</b>	Chispa H

Fuente: Martínez C, 2023.

En el diagrama se detalla la instalación adecuada de la batería, la llave de contacto, la distribución de relés y el fusible de la ECU. Esta es la metodología sugerida para proporcionar la alimentación y la conexión a tierra. Como se mencionó antes, los puntos de conexión a tierra deben dirigirse hacia el bloque del motor.



**Ilustración 3-3:** Instalación a batería

Fuente: MegaSquirt, 2020.

El diagrama ilustra los conectores que están vinculados a la masa, la alimentación o la activación de algún relé. Esta representación simplificada tiene como objetivo resaltar la importancia de efectuar las conexiones de relés, alimentación y masa de la manera especificada.

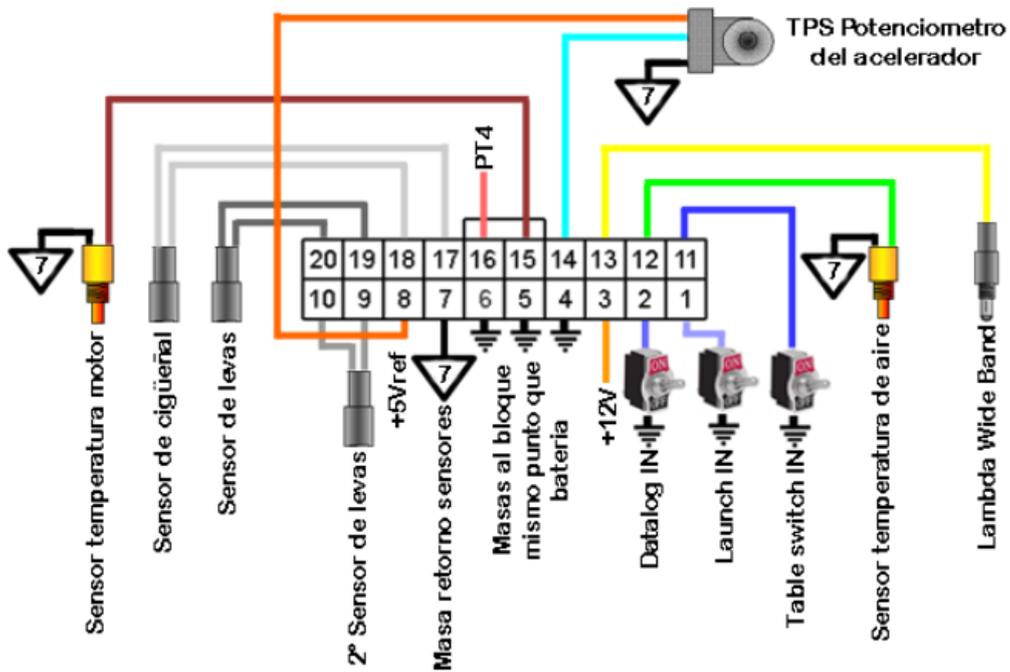
Tal como se explicó con anterioridad, tanto las masas de la ECU como el negativo de la batería deben conectarse al bloque motor. Es crucial que cada conexión tenga su propio cable y que todas converjan en un mismo punto, siguiendo esta configuración:

- Para el conector de 20 pines: conecte un cable desde el pin 4 al bloque motor, otro desde el pin 5 al bloque motor, y uno más desde el pin 6 al bloque motor.
- En el caso del conector de 24 pines: lleve un cable desde el pin 10 al bloque motor, uno desde el pin 11 al bloque motor, otro desde el pin 12 al bloque motor, y un cable adicional desde el pin 16 al bloque motor.
- Para el conector de 18 pines (usado exclusivamente en motores de 5, 6 y 8 cilindros): conecte un cable desde el pin 5 al bloque motor y otro desde el pin 6 al bloque motor.

- En cuanto a la batería, utilice un cable grueso para conectar el negativo de la batería al bloque motor. Además, es aconsejable conectar el negativo de la batería al chasis o carrocería con otro cable grueso.

### 3.7.3 Conexión sensores de motor

La ilustración que se mostrara a continuación muestra un esquema de conexión a sensores principales para un correcto funcionamiento del vehículo.



**Ilustración 3-4:** Diagrama de conexión de sensores

Fuente: MegaSquirt, 2020.

1-Launch IN. Su función original es activación o desactivación de Launch control o control de salida. Para otros usos encontrara más información en el punto 6.2.

2-Datalog IN. Su función original es activación o desactivación de la grabación de datos en la tarjeta de memoria. Para otros usos encontrara más información en el punto 6.2.

3-Alimentación de la unidad a +12V. Explicado con detalle en el punto 1 recomendaciones generales sobre la instalación.

4-5-6-Masas de la ECU. Explicado con detalle en el punto 1 recomendaciones generales sobre la instalación.

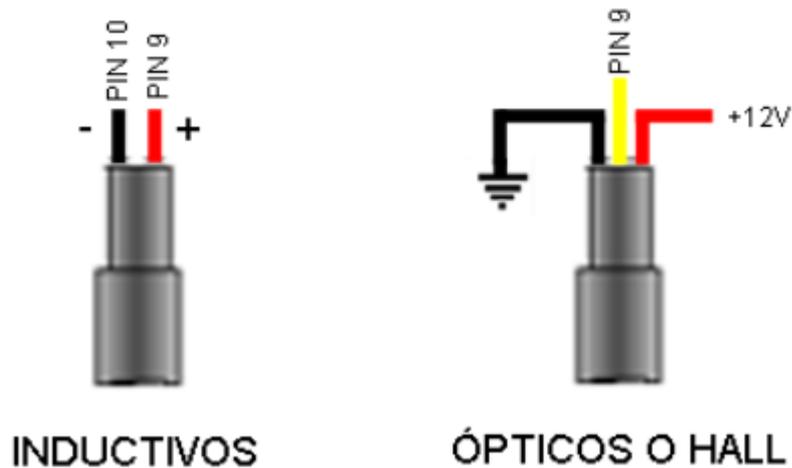
7-Masa retorno de sensores. Todos los sensores deben tener conectado uno de sus terminales al pin número 7 de este conector, el esquema general lo indica con un triángulo y el número 7 en su

interior, sensor de temperatura del refrigerante, sensor de temperatura del motor, potenciómetro de la mariposa (TPS) o en el caso de usar caudalímetro o MAP externo.

8-Salida de 5V para el TPS o otras necesidades.

9-10- Se ha llamado CAM 2 IN, en TunerStudio se llama CAM IN. Su función original es entrada para un segundo sensor de fase de levas. Admite sensores inductivos y sensores ópticos o hall. Los sensores inductivos no necesitan voltaje para su funcionamiento, los sensores ópticos o hall necesitan un voltaje en la alimentación y en la señal para su funcionamiento. El montaje predeterminado es para sensores inductivos, pero la ECU está preparada para enviar un voltaje en la señal si se trata de sensores ópticos o hall, necesitamos que nos indique que tipo de sensor va a usar para enviar la unidad preparada para su correcto funcionamiento.

La siguiente conexión dependerá si son sensores inductivos o de efecto hall:



**Ilustración 3-5:** Conexión a sensores de tipo hall e inductivo.

**Fuente:** MegaSquirt, 2020.

Los sensores inductivos típicamente tienen dos cables de señal, y si hay un tercer cable, generalmente es una malla para proteger contra interferencias. Nuestros sistemas de cableado incluyen tres cables más esta malla protectora:

- La malla está unida a un cable negro que emerge del conjunto de cables y debe conectarse a un punto de masa, como uno de los agujeros de soporte para la ECU. Asegúrese de que sea un punto de masa fiable.
- Los cables que se conectan a los pines 9 y 10 son los destinados a unirse al sensor.
- Hay un cable adicional sin conexión, previsto para usarse con un sensor óptico o tipo hall si fuera necesario. Si no se requiere, déjelo desconectado.

- Los sensores ópticos o tipo hall tienen tres cables: alimentación, señal y masa. Nuestros sistemas de cableado también incorporan estos tres cables y una malla de protección.
- El cable del pin 9 se une a la señal del sensor.
- El cable del pin 10 queda libre, sin conexión.
- Hay un cable adicional sin conexión, diseñado para proporcionar alimentación al sensor óptico o tipo hall, que se debe conectar a la salida (pin 87) del relé que alimenta la ECU.

Si no se utiliza la entrada para un sensor de fase del árbol de levas, se puede conectar un sensor de ABS o de velocidad del vehículo, permitiendo a la unidad mostrar la velocidad y configurar funciones como el indicador de marcha engranada, control de presión del turbo por velocidad, entre otras. También se puede usar como salida conmutada a masa, lo que requeriría una resistencia Pull-Up a 5V.

11- Table Switch IN. Su función principal es la activación o desactivación de dos mapas diferentes. Para más usos, consulte el punto 6.2.

12- Sensor de temperatura de aire. Los sensores de temperatura para sistemas de inyección tienen dos terminales: uno se conecta al pin 12 y el otro al pin 7 (retorno de los sensores). Estos sensores no tienen polaridad.

13- Entrada de señal del sensor de oxígeno o banda ancha. Siga las instrucciones del fabricante para su conexión, ya que la ECU solo requiere una señal entre 0V y 5V. No active la sonda antes de arrancar el motor para evitar daños prematuros. La alimentación del controlador debe conectarse a un relé que solo suministre corriente cuando el motor esté en marcha. La masa del controlador debe conectarse al bloque motor, al igual que las demás masas de la ECU.

14- Señal del potenciómetro de la mariposa o TPS. El TPS tiene polaridad y tres terminales:

- Alimentación de +5V, al pin 8 del conector de la ECU.
- Masa, al pin 7 del conector de la ECU (retorno de los sensores).
- Señal, al pin 14 del conector de la ECU.

Para identificar los terminales del TPS, realice pruebas con un multímetro. Busque dos terminales cuya resistencia no varíe al mover la mariposa del acelerador; estos serán +5V y masa. El terminal restante es el de señal. Para determinar cuál es el +5V y cuál la masa, mida la resistencia entre uno de ellos y el terminal de señal; si la resistencia aumenta al abrir la mariposa, ese es el terminal de +5V, y viceversa.

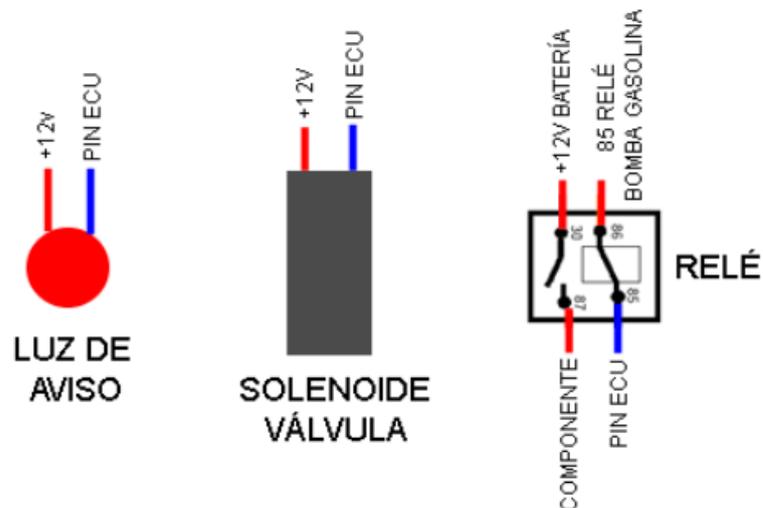
15- Sensor de temperatura del motor. Estos sensores tienen dos terminales: uno se conecta al pin 15 y el otro al pin 7 (retorno de los sensores), y no tienen polaridad.

16- PT4. Para más información, consulte los puntos 6.3 y 6.4.

17-18- Entrada del sensor de cigüeñal. Su función original es para un sensor de fase de levas. Son compatibles tanto con sensores inductivos como con sensores ópticos o tipo hall. Los sensores inductivos funcionan sin voltaje adicional, mientras que los ópticos o tipo hall requieren voltaje tanto en la alimentación como en la señal. Aunque el montaje predeterminado es para sensores inductivos, la ECU puede adaptarse para enviar voltaje a sensores ópticos o tipo hall. Informe qué tipo de sensor utilizará para preparar adecuadamente la unidad.

### 3.7.4 Inyectores

La ECU está equipada con 8 salidas de inyección, cada una capaz de manejar hasta 5 Amperios. Las salidas de inyección que no se usan para controlar un inyector pueden ser aprovechadas para otras funciones, como activar luces LED de aviso, operar relés, solenoides o válvulas, entre otros. Esto confiere a la unidad una gran versatilidad, abriendo un abanico de posibilidades para sus proyectos.



**Ilustración 3-6:** Conexión a inyectores

Fuente: MegaSquirt, 2020.

Las salidas de inyección funcionan conmutando a masa. A continuación, algunos ejemplos de cómo se pueden conectar:

La estrategia de inyección se determinará según la rueda fónica y los sensores de posición del motor. Para una inyección semi-secuencial, se requiere una rueda fónica en el cigüeñal con dientes faltantes, como las de tipo 36-1 o 60-2. Para la inyección secuencial, es necesario contar con una

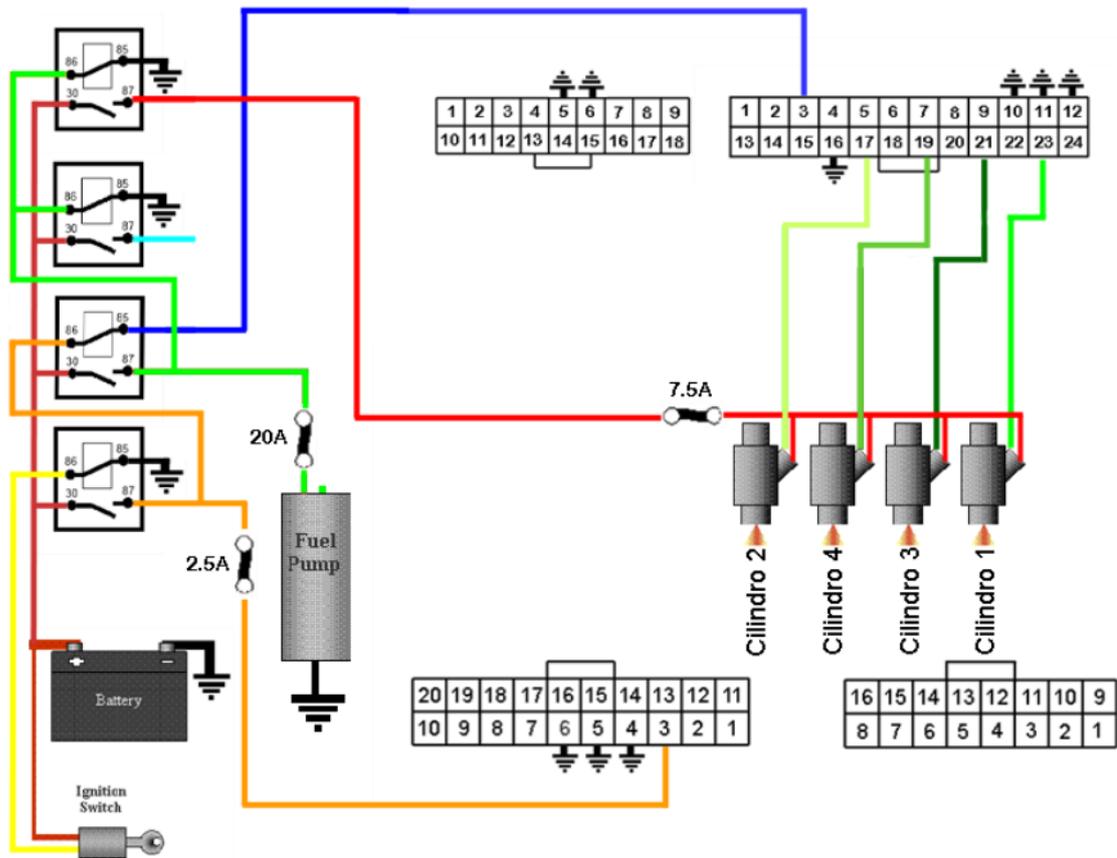
rueda fónica y un sensor de fase en el árbol de levas. Sistemas originales de fabricantes como Mitsubishi, Subaru, Nissan, Toyota, etc., tienen sus propios diseños y muchos de ellos ya están configurados y pueden utilizarse. Dependiendo del sistema, se podrá implementar inyección secuencial, semi-secuencial u otros métodos. No dude en consultarnos si tiene preguntas al respecto.

Los diagramas a continuación ilustran los motores y sistemas de inyección más usuales, así como la conexión recomendada para los inyectores entre la unidad y su fuente de alimentación desde el relé o relés. Para otros sistemas, estamos a su disposición para consultas.

#### *3.7.4.1 Inyección semi secuencial o secuencial en motores de 4 cilindros*

La conexión que se realiza en cada uno de los inyectores debe ser individual según su orden de encendido.

- Inyector cilindro 1 a pin 23, INJ A. Conector 24 pines.
- Inyector cilindro 3 a pin 21, INJ B. Conector 24 pines.
- Inyector cilindro 4 a pin 19, INJ C. Conector 24 pines.
- Inyector cilindro 2 a pin 17, INJ D. Conector 24 pines.



**Ilustración 3-7:** Conexión a inyectores

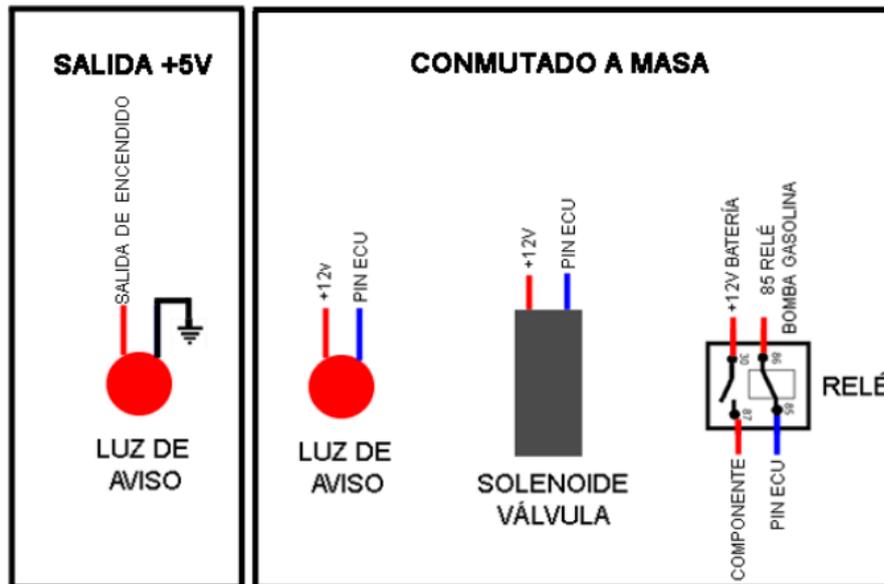
Fuente: MegaSquirt, 2020.

### 3.7.5 Encendido

La ECU está dotada de 8 salidas de encendido que emiten un pulso de 5V adecuado para bobinas lógicas (que incluyen un amplificador). En el caso de bobinas de alta corriente conectadas directamente a la ECU, es necesario añadir controladores de encendido internos, disponibles como una opción adicional y necesarios específicamente para este tipo de bobinas. Si requiere estos controladores, deben solicitarse al momento de adquirir la unidad. Para asesoramiento en la configuración de las salidas de encendido, no dude en consultarnos.

Esta versatilidad de la ECU facilita la implementación de estrategias de ajuste personalizadas, así como la activación de luces LED de aviso, relés, solenoides, válvulas, etc. Es importante recordar que, en su configuración básica, la unidad emite 5V con baja intensidad de corriente, por lo que estas salidas no son aptas para componentes que requieran una corriente media a alta o conmutación a masa. Están diseñadas primordialmente para bobinas lógicas o para enviar señales a un módulo de encendido externo, aunque también se pueden usar para activar luces de alarma

(por ejemplo, por fallas, exceso de temperatura, presión elevada, aviso de cambio de marcha, etc.). Si necesita que estas salidas manejen corrientes medias a altas o conmuten a masa para elementos como solenoides o válvulas, será necesario instalar controladores de encendido adicionales. A continuación, se muestran algunos ejemplos de cómo conectar componentes a estas salidas, según su configuración. Para comprobar cómo está configurada la unidad, puede utilizar un voltímetro en modo de prueba para verificar si la salida entrega 5V.



**Ilustración 3-8:** Conexión a encendido

Fuente: MegaSquirt, 2020.

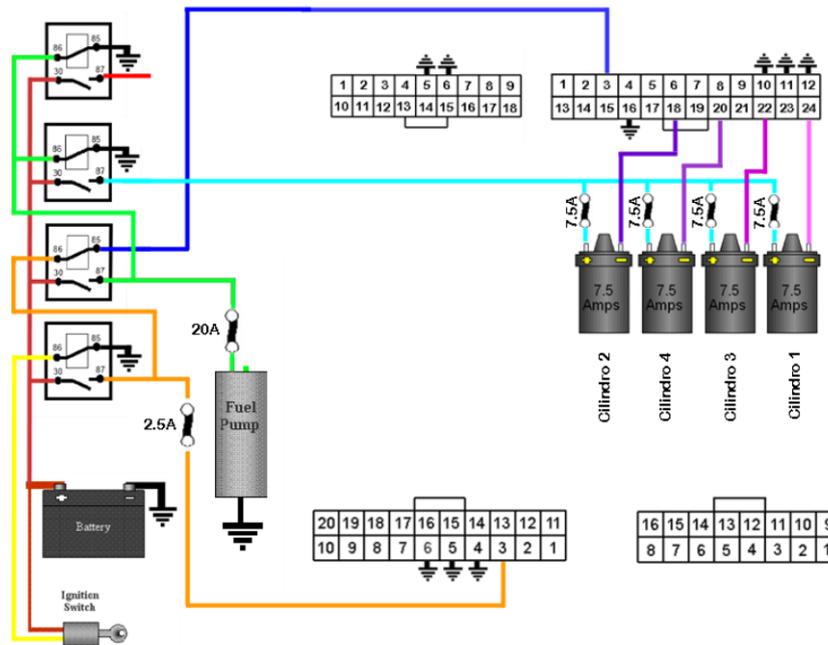
La conexión de las bobinas de encendido se determina según la rueda fónica y los sensores de posición del motor. Para implementar un encendido con chispa perdida, es necesario una rueda fónica en el cigüeñal con dientes faltantes, como las configuraciones 36-1 o 60-2. Para un encendido secuencial, se requiere tanto una rueda fónica como un sensor de fase en las levas o un distribuidor. Sistemas específicos de marcas como Mitsubishi, Subaru, Nissan, Toyota, entre otros, tienen sus propios diseños y pueden ser configurados para trabajar tanto en modo secuencial como con chispa perdida. No dude en consultarnos ante cualquier duda sobre su sistema.

Los diagramas indicados se aplican a bobinas sin módulo amplificador integrado, que generalmente tienen dos terminales de conexión: un positivo (conectado a través de un fusible) y un negativo conectado a la unidad. Por otro lado, las bobinas lógicas o con amplificador incorporado suelen tener 3 o 4 terminales: un positivo (a través de un fusible), uno o dos negativos conectados al bloque del motor, y una señal que se dirige a la unidad. En estos casos, solo es necesario conectar la señal de la bobina a la unidad, tal como lo ilustran los esquemas presentados.

### 3.7.5.1 Encendido secuencial en motores de 4 cilindros.

Las bobinas se conectan individualmente a la unidad según orden de encendido.

- Bobina cilindro 1 a pin 24, SPARK A. Conector 24 pines.
- Bobina cilindro 3 a pin 22, SPARK B. Conector 24 pines.
- Bobina cilindro 4 a pin 20, SPARK C. Conector 24 pines.
- Bobina cilindro 2 a pin 18, SPARK D. Conector 24 pines.



**Ilustración 3-9:** Conexión a bobinas.

Fuente: MegaSquirt, 2020.

### 3.7.6 Conexión de sensores de velocidad o ABS

Hay diversos tipos de sensores en los sistemas de ABS y velocidad del vehículo, como los sensores Hall, inductivos y magnetorresistivos. Para un control de tracción eficaz, es preferible tener señales de las cuatro ruedas, aunque como mínimo se requiere una señal de una rueda delantera y una trasera. Para determinar la velocidad del vehículo, basta con la señal de una rueda o un sensor de velocidad ubicado en la caja de cambios o en el diferencial, común en muchos vehículos. Es esencial configurar adecuadamente el número de dientes de las ruedas fónicas, el desarrollo del diferencial y el diámetro de la rueda para asegurar un funcionamiento correcto.

Identificar qué tipo de sensor utiliza el vehículo y cómo conectarlo a la unidad exige realizar pruebas e investigaciones. Antes de desmontar, es crucial verificar cómo está conectado el sensor originalmente, medir los voltajes en los terminales y examinar la señal que emiten hacia la unidad

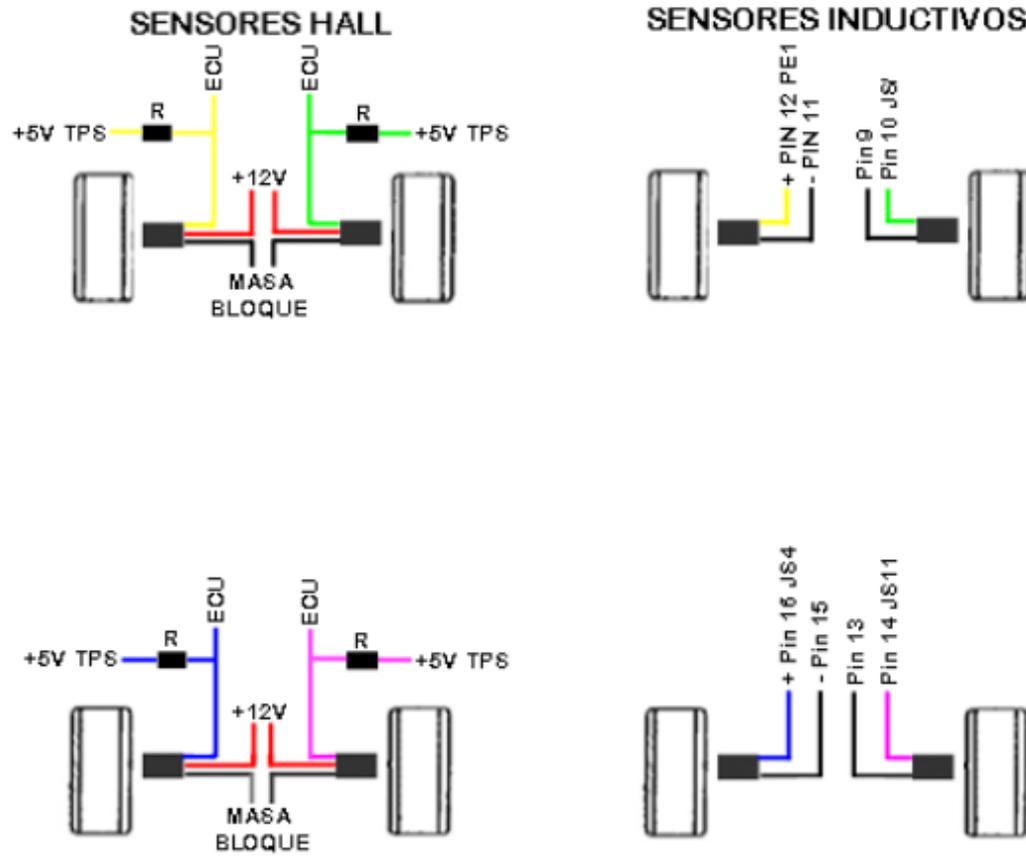
mediante un osciloscopio. A continuación, se ofrece una breve descripción de los tipos de sensores y cómo identificarlos:

- Los sensores Hall normalmente tienen 3 cables (alimentación, masa y señal), aunque en sistemas ABS pueden tener solo 2 (alimentación y señal). Utilizan ruedas fónicas de disco con agujeros o dentadas. Emiten una señal de onda cuadrada, lo que permite conectarlos directamente a la unidad sin necesidad de circuitos adicionales.
- Los sensores inductivos, que usualmente tienen 2 cables y posiblemente una malla antiinterferencias, funcionan con ruedas dentadas o discos con agujeros (en este caso, suelen tener una base de hierro detrás de los agujeros para simular dientes). Su señal es alterna y varía con la velocidad de la rueda, requiriendo un circuito adaptador para convertirla en una onda cuadrada compatible con la unidad. Este circuito es opcional y se instala internamente en la unidad.
- Los sensores magnetorresistivos se distinguen por su rueda fónica lisa, sin agujeros ni dientes. Necesitan un circuito externo para funcionar, el cual todavía no está disponible.

En cuanto a la conexión de señales de velocidad del vehículo, se puede realizar de las siguientes maneras:

- Los sensores Hall generalmente se conectan a masa. Su conexión es similar a la de los sensores Hall de cigüeñal o levas, pero conectándolos al pin correspondiente. Dependiendo del voltaje de la señal, se pueden conectar de diversas formas:
- Señal de +12V: Conectarse a entradas como NITROUS IN, JS7, PE1, entre otras, que tienen un Pull Up interno a +12V, sin necesidad de resistencia externa. Estas entradas son para baja frecuencia.
- Señal de +5V: Conectarse a entradas como PT4, JS11, FLEX, ideales para señales de +5V y alta frecuencia, con una resistencia Pull Up de 1K.
- Entradas CAM 1 IN y CAM 2 IN, que admiten +5 o +12V y son para alta frecuencia, requiriendo una resistencia Pull Up de 5,6K para sensores Hall.
- Los sensores inductivos solo se pueden conectar a entradas específicas (JS10 CAM 1 In o PT2 CAM 2 IN), siempre que no se usen para señales de levas. La conexión es igual a la de los sensores inductivos de cigüeñal o levas.

Se muestra a continuación un ejemplo de conexión para 4 sensores del sistema ABS, ya sean Hall o inductivos. Para esto se requiere un circuito interno en desarrollo, que esperamos tener disponible pronto.



**Ilustración 3-10:** Conexión a sensor se velocidad o ABS

Fuente: MegaSquirt, 2020.

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1 Instrumentos que se ocuparon para realizar las pruebas

##### 4.1.1 *Dinamómetro*

Para realizar las pruebas estáticas se ocupó el dinamómetro para vehículos de una sola tracción en este caso es un dinamómetro marca 4X2 – BPA – 2R HP, con el cual podemos obtener datos más específicos al ser un dinamómetro actual para obtener datos más precisos.



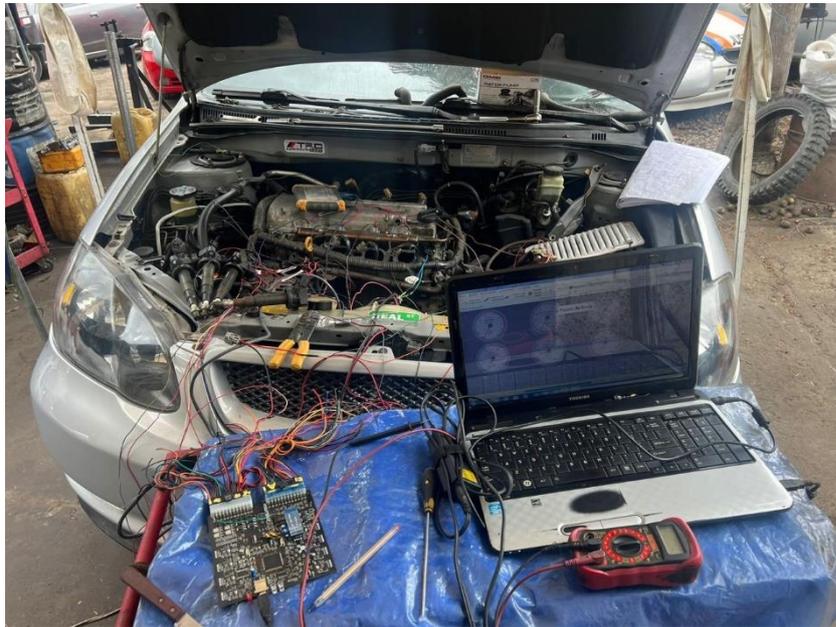
**Ilustración 4-1:** Dinamómetro

Fuente: Martínez C, 2023.

#### 4.2 Resultado de la comparativa con la mejora del rendimiento del VVT-i

Para poder verificar la eficiencia de implementar una ECU programable en el vehículo Toyota Corolla, se deben realizar tanto pruebas estáticas como dinámicas para poder evaluar de manera práctica la eficiencia que representa la implementación de este, con esto se podrá verificar la mejora que existe en el automotor ya sea en rendimiento de torque, potencia, y también en

consumo, lo que hace referencia en menor emisiones con respecto a la programación estándar del automotor.



**Ilustración 4-2:** Modificación de ECU

Fuente: Martínez C, 2023.

#### **4.2.1 Carga de combustible con respecto a las RPM**

La carga de combustible con respecto a las RPM se refiere a cómo varía la cantidad de combustible suministrada al motor de un vehículo en función de las revoluciones por minuto (RPM) a las que opera el motor.

En los motores de combustión interna, la cantidad de combustible que se inyecta en los cilindros está directamente relacionada con la demanda de potencia del motor, que a su vez está influenciada por las RPM. A bajas RPM, se requiere menos combustible para mantener el motor en funcionamiento, mientras que, a RPM más altas, se necesita más combustible para generar más potencia.

La gestión del sistema de combustible de un vehículo, mediante inyección electrónica de combustible, controla la cantidad de combustible suministrada al motor en función de factores como las RPM, la carga del motor (la demanda de potencia) y otros parámetros del motor y del vehículo. Esto se hace para optimizar la eficiencia del combustible, el rendimiento del motor y la emisión de contaminantes. La relación entre la carga de combustible y las RPM es una parte fundamental del ajuste fino de un motor para lograr un equilibrio óptimo entre potencia, eficiencia



mecánico o electrónico. Los sistemas de gestión del motor modernos utilizan sensores para monitorear varios parámetros del motor, como la posición del cigüeñal, la temperatura del refrigerante y la carga del motor, para calcular el momento óptimo de la ignición en función de las RPM y otras condiciones de funcionamiento del motor. Este ajuste continuo del tiempo de ignición ayuda a optimizar el rendimiento del motor en diferentes situaciones de conducción.

	700	900	1200	1500	2000	2600	3100	3700	4300	4900	5400	6000	6500	7100	7700	8300
100.0	24.5	25.1	24.1	25.7	27.7	34.2	35.0	36.1	39.1	40.4	40.2	40.9	41.0	41.5	41.2	42.2
90.0	24.3	24.8	24.0	25.5	27.7	34.2	35.0	36.1	39.1	40.4	40.2	40.9	41.0	41.5	41.2	42.2
85.0	24.1	24.6	23.9	25.4	27.7	34.2	35.0	36.1	39.1	40.4	40.2	40.9	41.0	41.5	41.2	42.2
80.0	24.0	24.4	23.9	25.3	27.7	34.2	35.0	36.1	39.1	40.4	40.2	40.9	41.0	41.5	41.2	42.2
75.0	23.9	24.3	23.8	25.2	27.4	34.1	35.0	36.0	40.2	40.6	40.1	41.1	41.9	41.7	42.7	43.7
70.0	23.8	24.1	23.8	25.1	26.9	34.1	35.0	35.9	40.1	40.5	40.0	41.0	41.9	41.5	42.5	43.5
65.0	23.6	23.9	23.7	24.9	26.4	34.1	34.9	35.9	36.9	37.9	38.7	39.7	40.5	41.4	42.4	43.4
60.0	23.5	23.7	23.7	24.8	25.9	34.1	34.9	35.9	36.8	37.8	38.6	39.6	40.4	41.3	42.3	43.3
50.0	23.3	23.4	23.6	24.6	25.7	34.4	35.2	36.1	37.0	38.0	38.8	39.7	40.5	41.4	42.4	43.3
45.0	23.1	23.2	23.5	24.5	25.2	34.4	35.1	36.1	37.0	37.9	38.7	39.6	40.4	41.3	42.2	43.2
40.0	23.0	23.1	23.5	24.4	24.7	34.4	35.1	36.0	37.0	37.9	38.6	39.5	40.3	41.2	42.1	43.0
35.0	22.9	22.9	23.4	24.3	24.5	34.3	35.1	36.0	36.9	37.8	38.6	39.5	40.2	41.1	42.0	42.9
30.0	15.8	14.8	19.1	22.0	24.3	30.9	31.7	32.6	33.5	34.3	35.1	36.0	36.7	37.6	38.5	39.4
25.0	15.6	12.0	12.0	22.0	24.3	30.9	31.7	32.5	33.4	34.3	35.0	35.9	36.6	37.5	38.4	39.3
20.0	15.4	12.3	12.3	22.0	24.3	30.9	31.0	31.9	32.8	33.8	34.5	35.5	36.2	37.2	38.1	39.0
15.0	13.3	12.4	12.4	19.5	7.5	7.5	-5.0	-5.0	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-3.3	-3.3	-3.3	-3.3

**Ilustración 4-4:** Ignición vs RPM

Fuente: Martínez C, 2023.

#### 4.2.3 Carga del VVT-i con respecto a las RPM

La carga del VVT-i con respecto a las RPM implica cómo la tecnología VVT-i ajusta el tiempo de apertura de las válvulas en función de las revoluciones por minuto (RPM) del motor y la carga del mismo. A bajas RPM y cargas ligeras, el sistema puede variar el tiempo de apertura de las válvulas para optimizar la eficiencia del combustible y el par motor. Esto puede ayudar a mejorar el rendimiento del motor a velocidades más bajas y durante la conducción en ciudad.

Por otro lado, a RPM más altas y cargas más pesadas, el sistema VVT-i puede ajustar el tiempo de apertura de las válvulas para mejorar el rendimiento y la potencia del motor. Esto puede ayudar a optimizar la respuesta del motor durante la aceleración y la conducción a altas velocidades.

El estudio se realizó con respecto a la posición del pedal para verificar la carga del VVT-i, realizando distintas programaciones para obtener la mejor eficiencia de dicho sistema en el vehículo.

v t l o a d %	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
100.0	3.1	3.1	5.0	16.1	16.1	15.0	15.0	15.0
90.0	3.1	3.1	5.0	16.1	16.1	15.0	15.0	15.0
80.0	3.1	3.1	5.0	15.7	20.0	20.0	20.0	20.0
70.0	3.1	3.1	5.0	15.7	20.0	20.0	20.0	20.0
60.0	3.1	3.1	0.0	15.7	20.0	20.0	20.0	20.0
50.0	3.1	3.1	0.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
40.0	3.1	3.1	0.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
20.0	-5.7	-5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	10.0
	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000

**Ilustración 4-5:** Carga del VVT-i vs RPM

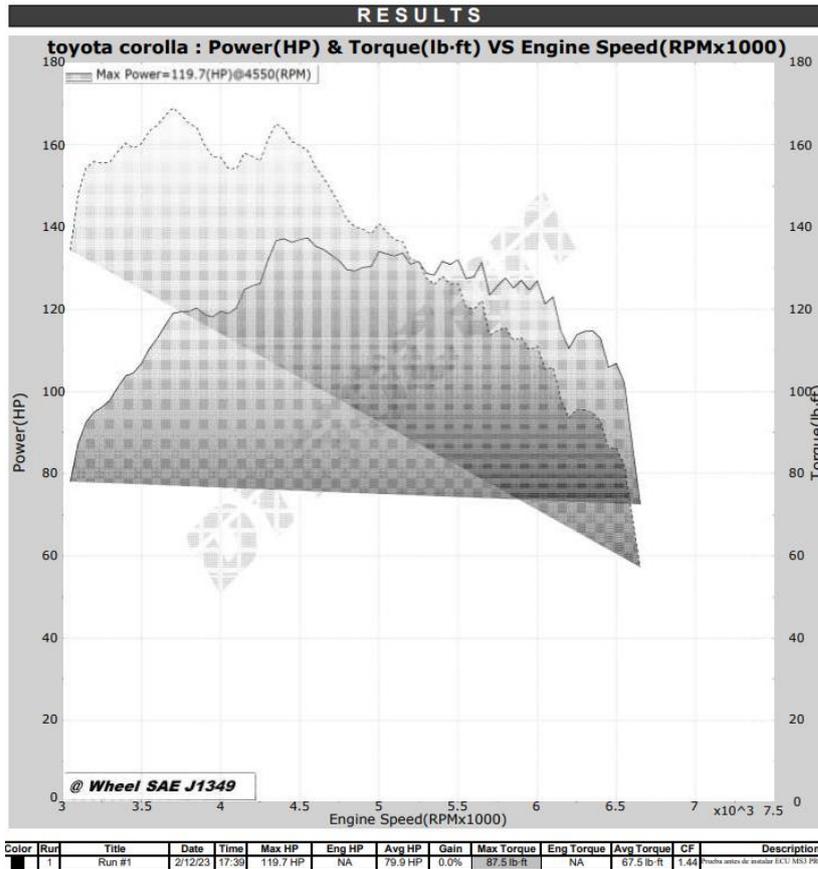
Fuente: Martínez C, 2023.

#### 4.2.4 *Potencia obtenida de automotor estándar*

La potencia máxima de 119.7 caballos de fuerza (Hp) obtenida a través de los datos del dinamómetro revela información crucial sobre el rendimiento del vehículo estándar. Este valor es fundamental para evaluar la capacidad del motor y su eficiencia en la generación de potencia.

La potencia máxima es un indicador significativo que proporciona una visión clara de la capacidad del motor para producir trabajo mecánico. En el contexto automotriz, este valor es crucial para comprender el rendimiento general del vehículo, ya que influye directamente en la aceleración, la velocidad máxima y la eficiencia del combustible.

Este resultado específico de 119.7 (Hp) puede compararse con las especificaciones del fabricante para determinar si el motor está operando dentro de los parámetros previstos. Si la potencia máxima es consistente con las expectativas, sugiere que el motor está funcionando de manera óptima. Por otro lado, una discrepancia podría indicar posibles problemas en el sistema de combustión, la transmisión u otros componentes mecánicos.



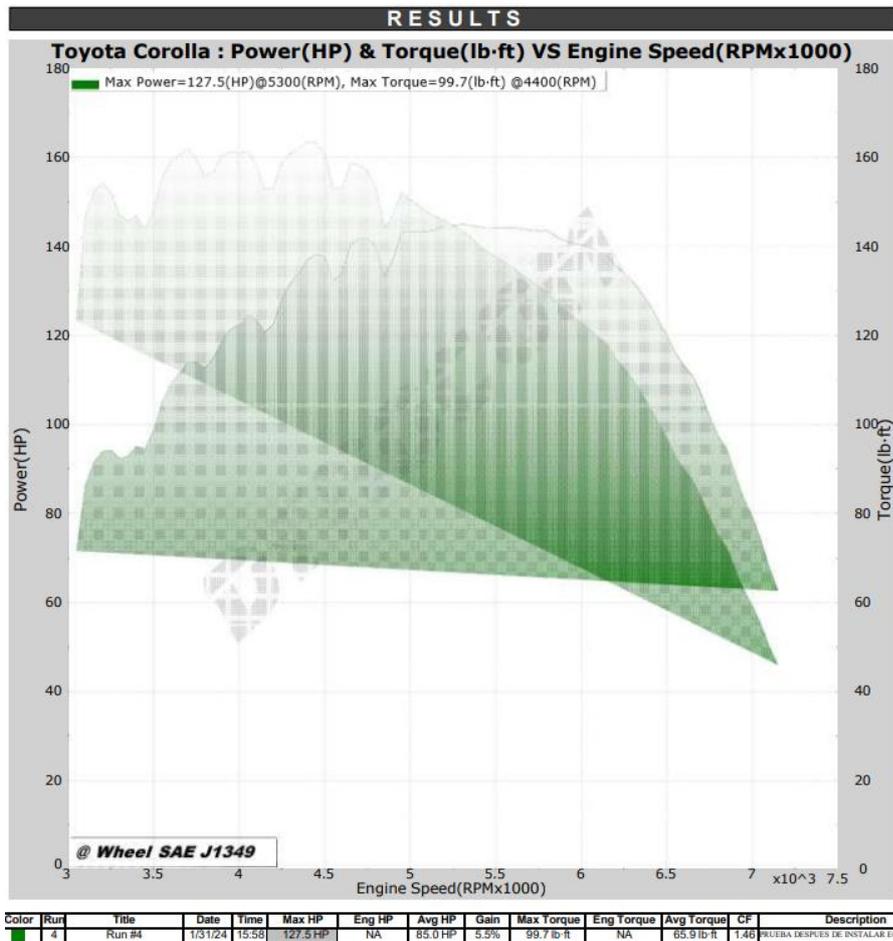
**Ilustración 4-6:** Potencia Vehículo estándar

Fuente: Martínez C, 2023.

#### 4.2.5 Potencia obtenida con ECU MS3pro

La activación de la ECU programable y el accionamiento del sistema VVT-i representan mejoras significativas en el rendimiento del vehículo, evidenciadas por el notable aumento de potencia a 127.5 caballos de fuerza (Hp). La ECU programable permite ajustar la gestión del motor de manera personalizada, optimizando la mezcla de combustible y el tiempo de encendido para obtener un rendimiento más eficiente.

Este incremento de 127.5 Hp refleja no solo la capacidad mejorada del motor sino también la sinergia entre la gestión electrónica y el control de las válvulas. La combinación de estos elementos permite aprovechar al máximo la potencia disponible y mejorar la respuesta del motor en diversas condiciones de conducción. Es importante destacar que estas modificaciones no solo se traducen en un aumento de potencia, sino que también pueden influir en la economía de combustible y la suavidad del rendimiento. La integración exitosa de la ECU programable y el sistema VVT-i destaca la importancia de la ingeniería electrónica avanzada en la mejora de la eficiencia y el rendimiento de los motores modernos.



**Ilustración 4-7:** Potencia obtenida con ECU programable

Fuente: Martínez C, 2023.

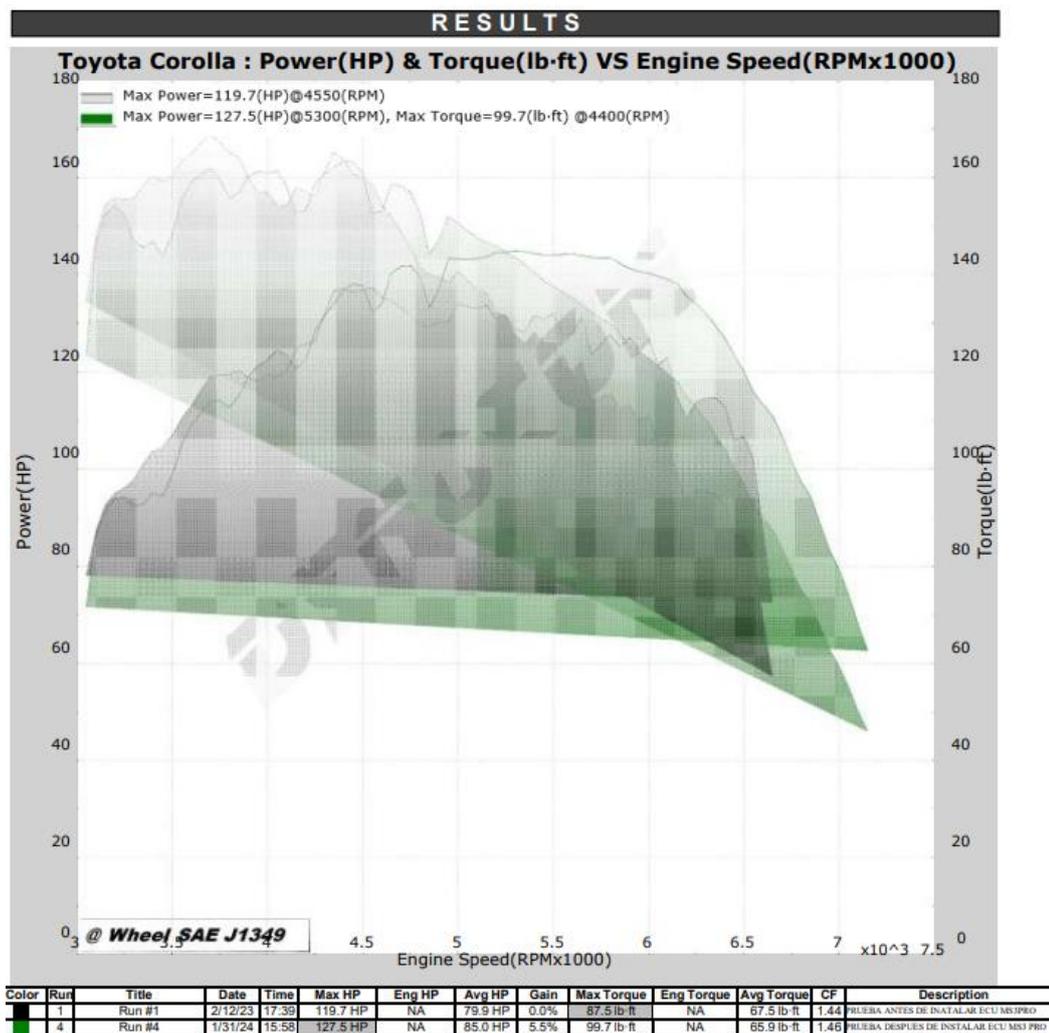
#### 4.2.6 Comparativa ECU estándar vs ECU MS3 pro

La comparativa entre las dos gráficas proporciona una perspectiva visual clara de cómo la variación del árbol de levas mediante el VVT-i impacta significativamente en la potencia del motor. La gráfica verde, que representa la potencia máxima de 127.5 caballos de fuerza (Hp), ilustra el rendimiento optimizado obtenido al activar el VVT-i junto con una ECU programable. En contraste, la gráfica gris muestra el funcionamiento del VVT-i con la ECU estándar del automotor, generando una potencia máxima de 119.7 Hp. Esta diferencia de 7.8 Hp entre las dos configuraciones resalta el impacto positivo de la optimización electrónica en el rendimiento del motor.

La curva verde, al mostrar una potencia máxima superior, sugiere que la variación controlada del árbol de levas, combinada con una gestión electrónica personalizada, permite una mejor

sincronización de la combustión y una utilización más eficiente de la potencia del motor en comparación con la configuración estándar.

Esta comparativa no solo subraya la mejora cuantitativa en términos de potencia, sino que también destaca la capacidad del VVT-i y la ECU programable para adaptarse a diferentes condiciones de conducción, maximizando el rendimiento en todo el rango de operación del motor. Además, resalta la importancia de la sintonización electrónica avanzada para optimizar la eficiencia del motor y brindar una experiencia de conducción mejorada.



**Ilustración 4-8:** Diagrama de comparativa de Potencia obtenida

Fuente: Martínez C, 2023.

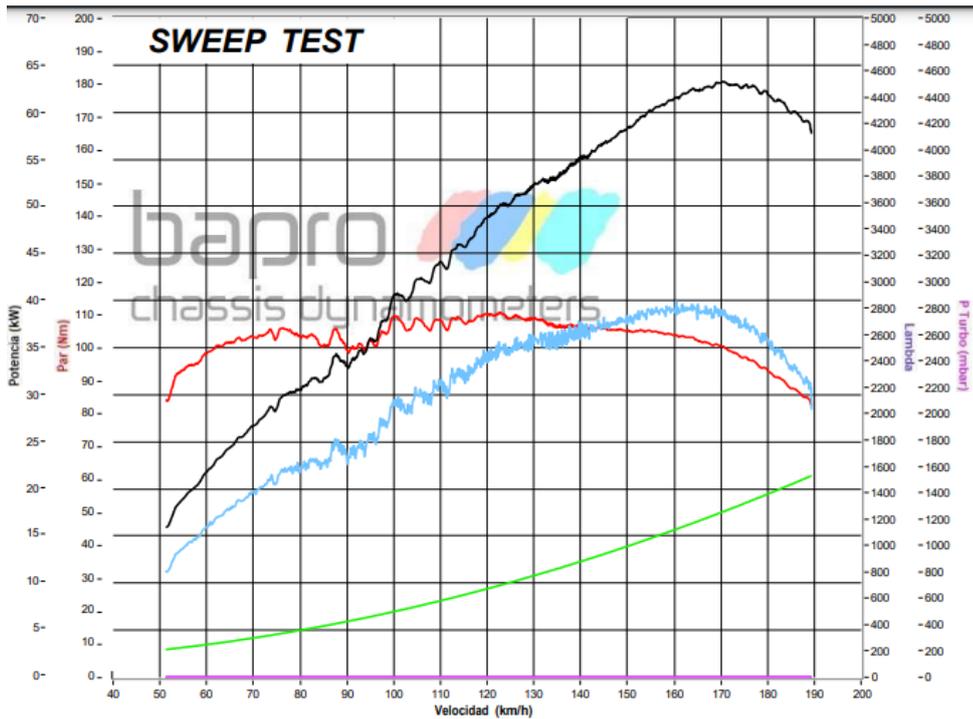
#### 4.2.7 Potencia máxima obtenido con configuración estándar

La gráfica revela un aspecto crucial del sistema VVT-i en la configuración estándar, donde la activación a las 6500 rpm se traduce en una estabilización del rendimiento del motor. Este enfoque

estratégico busca optimizar la potencia máxima del motor, alcanzando 93.3 Kilovatios (Kw) que al momento de transformar a caballos de fuerza (Hp) se multiplicara por 1.3410 obteniendo un resultado de 125.11 caballos de fuerza (Hp), en ese punto específico de la curva de potencia.

La elección de activar el VVT-i a las 6500 rpm sugiere una estrategia para equilibrar la eficiencia y el rendimiento en un rango operativo específico del motor. Al hacerlo, se logra una armonización entre la variación del árbol de levas y la gestión electrónica para maximizar la potencia, ofreciendo un rendimiento potente y estable en las condiciones ideales de funcionamiento.

Este enfoque de activación del VVT-i a una determinada velocidad de rotación del motor apunta a mejorar la respuesta y la eficiencia en situaciones de aceleración, brindando al conductor una experiencia de conducción más dinámica. La estabilización de la curva de potencia en el punto de activación destaca la capacidad del VVT-i para ajustarse dinámicamente y optimizar el rendimiento del motor en momentos específicos de la operación.



Fecha prueba	30/11/23 - 11:14:16
Modelo vehículo	COROLLA
Matrícula	LCC0386
Cliente	SR CHRISTIAN MARTINEZ
Operador	JUAN CARLOS NAVAS
Cilindrada	1800
Alimentación	Gasolina
Tipo motor	Aspirado
Cuentarrev	Automático
Tracción	Anterior
Temperatura (°C)	24
Presión (mbar)	883
Nombre archivo	240219_131216.dat
Note	

● Potencia al cigüeñal	● Potencia a la rueda	● Potencia disipada
● Par motor	● Lambda	● Presion turbo

Potencia max motor	93,3	kW
Potencia max a correspondientes a	6014	rpm
corregido por	170	km/h
factor de corrección	Nessuna	
Potencia max a la rueda	1,000	
Par máximo	59,9	kW
Par máximo a correspondientes a	111,0	Nm
Presión turbo max	150	km/h
Lambda max	4336	rpm
Presión turbo max a correspondientes a	1	mbar
Lambda max a correspondientes a	57	km/h
Presion turbo	2001	rpm
Lambda max a correspondientes a	80	km/h
Velocidad punta	2830	rpm
	189	km/h

**Ilustración 4-9:** Gráfica dinamómetro motor estándar

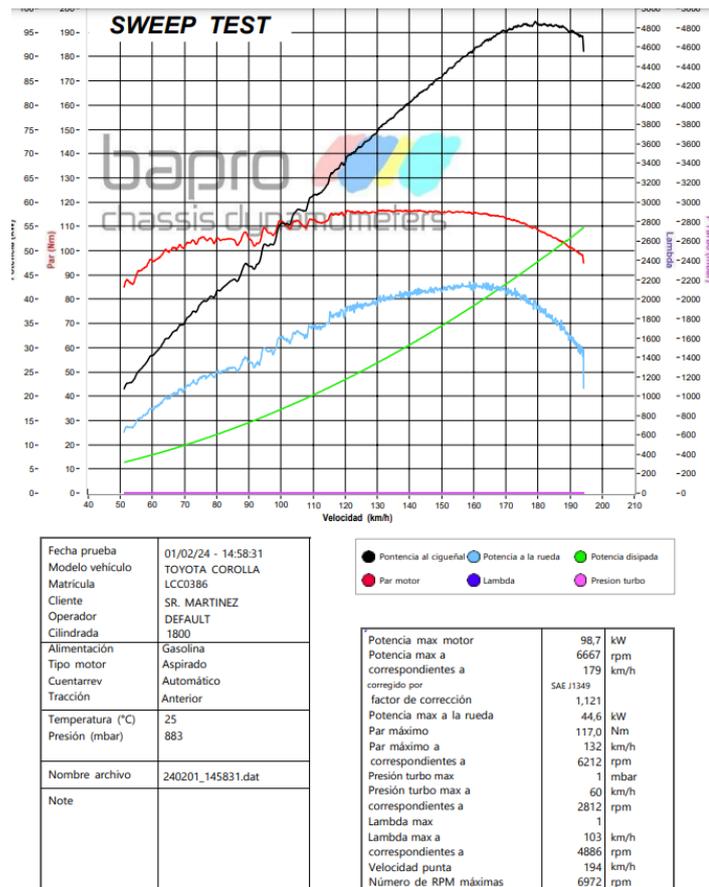
Fuente: Martínez C, 2023.

#### 4.2.8 Potencia máxima obtenido con ECU programable

La notable activación del sistema VVT-i con la computadora programables es a las 6500 rpm, como se refleja en la gráfica, marca un hito significativo en la optimización del rendimiento del motor. La estabilización de la curva en este punto específico resalta la capacidad del VVT-i para ajustar dinámicamente el árbol de levas, logrando un equilibrio óptimo entre potencia y eficiencia. La potencia máxima obtenida es de 98.7 Kilovatios (Kw), 132.35 caballos de fuerza (Hp), obtenido en este punto demuestra el impacto positivo en la implementación de la computadora programables que modifica la variación del árbol de levas mediante el VVT-i. Esta estrategia de

activación es a las 5500 rpm indica una sintonización precisa para aprovechar al máximo la eficiencia volumétrica del motor en ese rango específico de velocidades.

La estabilización de la curva de potencia en conjunción con la activación del VVT-i a 6500 rpm sugiere una mejora sustancial en la respuesta del motor, especialmente durante situaciones de aceleración y conducción dinámica. Este enfoque puede traducirse en una experiencia de conducción más emocionante y eficiente, ya que el sistema VVT-i trabaja en armonía con la gestión electrónica para optimizar la entrega de potencia.



**Ilustración 4-10:** Grafica de curvas con computadora programable

Fuente: Martínez C, 2023.

#### 4.2.9 Emisiones obtenidas con configuración estándar

Para poder realizar el análisis de las emisiones generadas con la configuración estándar, obtuvimos los datos de la tabla de emisiones autorizada en Ecuador para la RVT (revisión técnica vehicular), mediante la cual observamos que estamos dentro de los parámetros establecidos de

contaminación, en la configuración estándar el sistema VVT-i funciona de una manera ideal de tal manera no genera mucha contaminación.

En el proceso de análisis de las emisiones generadas con la configuración estándar, fue fundamental obtener datos precisos de la tabla de emisiones autorizada en Ecuador para la Revisión Técnica Vehicular (RVT). Estos datos proporcionan una referencia crucial para evaluar el impacto ambiental de nuestro vehículo y asegurar su conformidad con las regulaciones ambientales locales.

Los resultados de dicho análisis revelaron que nuestro vehículo se encuentra dentro de los parámetros establecidos de contaminación según las normativas de la RVT. Esta conformidad demuestra un compromiso con las prácticas ambientales y respalda la eficacia de la configuración estándar. Específicamente, el sistema VVT-i opera de manera ideal en esta configuración, lo que se traduce en una emisión reducida de contaminantes.

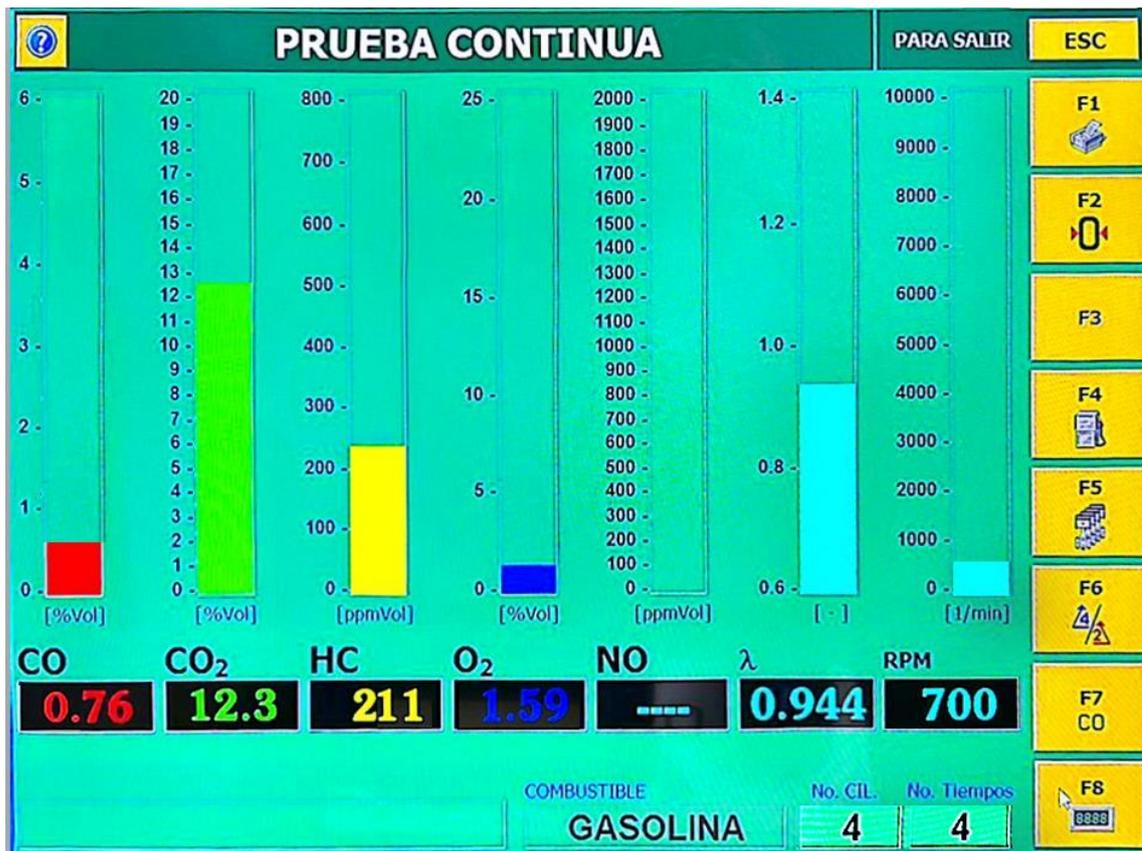
Este cumplimiento con los estándares de emisiones establecidos no solo beneficia al medio ambiente, sino que también destaca la calidad y la eficiencia del diseño del vehículo. La capacidad de mantener bajos niveles de emisiones en la configuración estándar es una ventaja significativa en términos de sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

### RTV PARA LA CIUDAD DE QUITO

VEHÍCULOS GASOLINA (EXCEPTO MOTOS) <b>RALENTI Y ALTAS RPM</b>					
AÑO	HC en PPM	CO en %	O <sub>2</sub> en %	TIPO FALTA	RESULTADO
<b>DEL 2000 EN ADELANTE</b>	0 ≤ X < 160	0 ≤ X < 0,6	0 ≤ X < 3	0	APROBADO SIN FALTAS
	160 ≤ X < 180	0,6 ≤ X < 0,8	3 ≤ X < 4	1	APROBADO CON FALTA <b>TIPO 1</b>
	180 ≤ X < 200	0,8 ≤ X < 1	4 ≤ X < 5	2	APROBADO CON FALTA <b>TIPO 2</b>
	X ≥ 200	X ≥ 1	X ≥ 5	3	<b>RECHAZADO</b>
<b>DE 1990 A 1999</b>	0 ≤ X < 650	0 ≤ X < 3,5	0 ≤ X < 3	0	APROBADO SIN FALTAS
	650 ≤ X < 700	3,5 ≤ X < 4	3 ≤ X < 4	1	APROBADO CON FALTA <b>TIPO 1</b>
	700 ≤ X < 750	4 ≤ X < 4,5	4 ≤ X < 5	2	APROBADO CON FALTA <b>TIPO 2</b>
	X ≥ 750	X ≥ 4,5	X ≥ 5	3	<b>RECHAZADO</b>
<b>DE 1989 Y ANTERIORES</b>	0 ≤ X < 950	0 ≤ X < 6	0 ≤ X < 3	0	APROBADO SIN FALTAS
	950 ≤ X < 1100	6 ≤ X < 6,5	3 ≤ X < 4	1	APROBADO CON FALTA <b>TIPO 1</b>
	1100 ≤ X < 1200	6,5 ≤ X < 7	4 ≤ X < 5	2	APROBADO CON FALTA <b>TIPO 2</b>
	X ≥ 1200	X ≥ 7	X ≥ 5	3	<b>RECHAZADO</b>

**Ilustración 4-11:** Tabla de emisiones permitidas en Ecuador

Fuente: Martínez C, 2023.



**Ilustración 4-12:** Emisiones obtenidas configuración estándar

Fuente: Martínez C, 2023.

#### 4.2.10 Emisiones obtenidas con computadora programable

La instalación de la computadora programable ha arrojado datos altamente significativos al activarse el sistema VVT-i en comparación con la configuración estándar previa. La disminución en la obtención de valores en todos los datos de emisiones tras esta modificación es un indicador claro de una mejora considerable en la reducción de emisiones contaminantes. Este resultado resalta la eficacia de la nueva configuración en la optimización del sistema VVT-i, reflejando una combustión más eficiente y limpia.

La eliminación completa de emisiones en los datos recopilados sugiere que la adaptación de la nueva ECU ha logrado maximizar la eficiencia del motor al controlar de manera precisa el tiempo de apertura y cierre de las válvulas de admisión. Este nivel de precisión permite una quema de combustible más completa, minimizando la generación de gases contaminantes y posicionando al vehículo en cumplimiento total con los estándares ambientales.

Además de la mejora en emisiones, se observa una correlación positiva con el consumo de combustible. La eficiencia mejorada del motor se traduce en un uso más efectivo del combustible, lo que puede resultar en un menor consumo en situaciones de conducción cotidianas. Este beneficio adicional destaca la influencia positiva de la nueva configuración programable no solo en términos medioambientales, sino también en la economía de combustible.

Estos resultados prometedores respaldan la decisión de migrar hacia una computadora programable, evidenciando la capacidad de esta tecnología para no solo optimizar el rendimiento del sistema VVT-i sino también para impactar positivamente en aspectos cruciales como las emisiones contaminantes y la eficiencia del combustible.

La implementación exitosa de esta tecnología resalta la importancia de la innovación en la gestión del motor para abordar de manera efectiva los desafíos ambientales y mejorar la sostenibilidad de los vehículos.



**Ilustración 4-13:** Emisiones obtenidas computadora programable

Fuente: Martínez C, 2023.

4.2.11 Análisis de distancia recorrida con ECU estándar.

**Ruta 5**  
ESTACIÓN DE SERVICIO  
RUC: 1704038155001  
ANDRES EDUARDO SANCHEZ OCHOA

**Dirección:** KM 5.5 VIA AMBATO **Teléfono:** 290-4159

**OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD:** SI

**FACTURA 003-001-000313927**  
**N° AUTORIZACIÓN**  
0103202401170403815500120030010003139279538117213

**AMBIENTE:** Producción **EMISIÓN:** Normal  
**CLAVE DE ACCESO**  
0103202401170403815500120030010003139279538117213

**Identificación:** 1600837064  
**Placa:** LCC0386 **Fecha:** 01/03/2024  
**Nombre:** CHISTIAN MARTINEZ  
**Dir:** Dirección  
**Email:** email

Coc	Cant	Descri	Prec	Unit	Subsidio	TotProd
	2	4,17 Extra	2,14		8,93	8,93
					<b>Total Sin Subsidio</b>	0,00
					<b>Total Subsidio</b>	8,93

**Subtotal 12%:** 8,93  
**IVA 12%:** 1,07  
**TOTAL:** 10,00

**DATOS ADICIONALES**

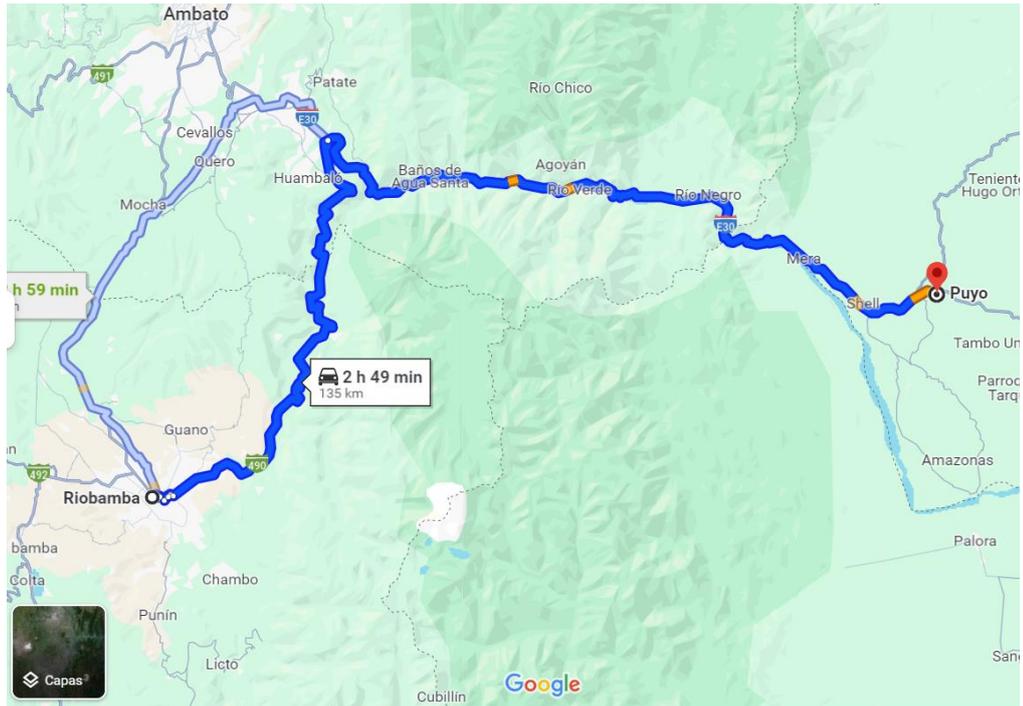
**Desarrollado:** LabDeSoft Cel:0984183643

FORMAS DE PAGO	
Sin Utilización del sistema financiero	

Estimado cliente esta factura impresa es un documento valido tributariamente, la versión PDF y XML, lo puede encontrar en el buzón del contribuyente en el portal del S.R.L.

**Ilustración 4-14:** Factura emitida por gasolinera Ruta35

Fuente: Martínez C, 2023.



**Ilustración 4-15:** Distancia recorrida con la ECU estándar

Fuente: Martínez C, 2023.



**Ilustración 4-16:** Kilometraje recorrido con 4.17 galones de gasolina con la ECU estándar

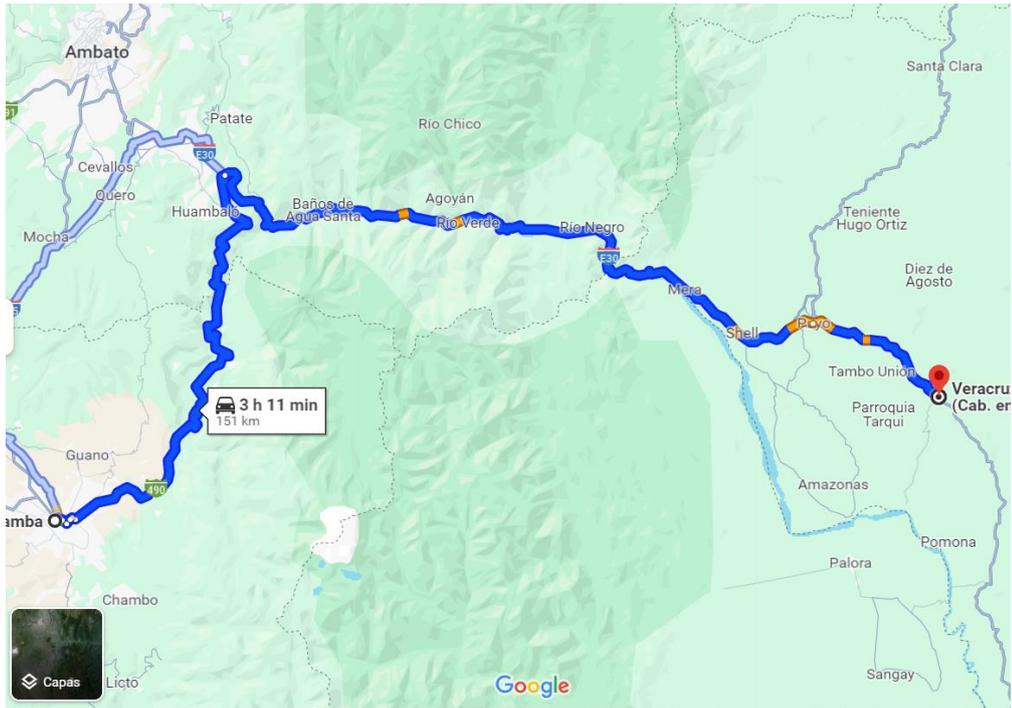
Fuente: Martínez C, 2023.

#### 4.2.12 Análisis de distancia recorrida con ECU Megasquirt 3 pro.

SINDICATO DE CHOFERES PROFESIONALES DE PASTAZA  
ESTACION DE SERVICIO DEL SINDICATO DE CHOFERES DE PASTAZA  
A  
Ruc: 1690005642001  
Dir: PASTAZA / PUYO / AV. ALBERTO ZAMBRANO S/N  
Tel: (00) 32792400  
DOCUMENTO SIN VALIDEZ TRIBUTARIA  
-----  
No. Documento: 002-011-000030425  
Codigo: 12467  
Cod Unico: 0932138  
Cod Facturacion:  
Cliente: MARTINEZ ROSERO CHRISTIAN MILQUISIDE  
Ruc: 1600837064  
Placa: LCC0386  
Fecha: 03/03/2024 17:23:51  
-----  
PRODUCTO CANT. P.UNIT TOTAL  
-----  
EXTRA 4.165 2.142857 8.93  
  
No. Trans : 58619  
Pto. Carga: 0101  
  
Subtotal: \$ 8.93  
Iva 12%: \$ 1.07  
Total : \$ 10.00  
  
Monto equivalente al subsidio: \$ 1.02  
  
Forma de Pago: Efectivo  
Clave de Acceso SRI : 0303202401169000564200120020110000  
30425000099910  
  
Atendido por: VERONICA GUAMAN  
-----  
Su factura en [www.efacturaecuador.com](http://www.efacturaecuador.com) con su Cedula/RUC/  
Pasaporte  
.Sus retenciones enviar al correo [estacionsindicatopastaza@hotmail.com](mailto:estacionsindicatopastaza@hotmail.com)  
Agente de Retencion Resolucion Nro. NAC-DNCRASC20-000000  
01  
Producto desarrollado por GASINTEC  
[www.gasintec.com](http://www.gasintec.com)  
"Beneficiate de la renisi3n de intereses, multas y recar  
gos pagando tus obligaciones tributarias hasta el 31 de  
julio de 2024. Para mas informaci3n llana al 1700 774 77  
4"

**Ilustraci3n 4-17:** Factura emitida  
por la gasolinera Sindicato de  
Choferes de Pastaza

Fuente: Mart3nez C, 2023.



**Ilustración 4-18:** Distancia recorrida con la ECU Megasquirt 3 pro

Fuente: Martínez C, 2023.



**Ilustración 4-19:** Kilometraje recorrido con 4.17 galones de gasolina con la ECU estándar

Fuente: Martínez C, 2023.

#### 4.2.13 Tabla de Resultados

**Tabla 4-1:** Tabla comparativa de resultados

Tipo de Prueba	CO	CO2	HC	O2	$\lambda$
Emisiones Obtenidas Antes	0.76	12.3	211	1.59	0.944
Emisiones Obtenidas Después	0.51	10.9	124	1.51	1.039
Tipo de Prueba	Dinamómetro		Ba Pro		
	Antes	Después	Antes	Después	
Caballos de Fuerza (HP)	119.7	127.5	125.11	132.5	
Par Máximo (Nm)	118.63	135.18	111	117	
Tipo de Prueba	Recorrido Riobamba-Puyo				
	Antes		Después		
	Galones de combustible	Km recorridos	Galones de combustible	Km recorridos	
Consumo de combustible	4,17 galones	133.6 km	4,17 galones	151.6 km	

Fuente: Martínez C, 2023.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- La conversión de la computadora original de un Toyota Corolla con motor 1zz a una computadora programable Megasquirt 3pro implica una serie de cambios significativos en la gestión del motor. Al comparar las curvas de torque y potencia antes y después de esta modificación mediante pruebas en un dinamómetro.
- Las curvas de potencia obtenidas en los dos tipos de configuraciones, arroja resultados favorables al implementar una computadora programable obteniendo mejoras notables en la eficiencia del motor, dándonos como resultados una mejora de 7.8 HP en el dinamómetro, mientras que en el BA PRO obtenemos una diferencia de 7.39 HP. Por otro lado, la curva de Torque se obtuvo una gran diferencia con respecto a la configuración estándar, obteniendo un resultado de 16.55 Nm de diferencia, mientras que en el BA PRO obtenemos una diferencia de 6 Nm.
- Las emisiones obtenidas en la configuración estándar nos arrojan más gases contaminantes dándonos un valor lambda con la configuración estándar 0.944, mientras que en con la configuración ideal con la computadora programable nos arroja un valor lambda de 1.039 que sería el ideal para generar menos gases contaminantes.
- La ejecución exitosa del desarrollo de programaciones para la nueva computadora representa un hito clave en la búsqueda de una optimización efectiva del sistema VVT-i en el motor específico. La capacidad de ajustar y personalizar los parámetros de sincronización de la válvula de distribución variable ha permitido una adaptación precisa a las demandas dinámicas del motor, optimizando su rendimiento.
- La prueba dinámica de eficiencia de combustible con la configuración de fábrica nos da un recorrido de 133.6 kilómetros con 4,17 galones de combustible, mientras que con la computadora Megasquirt 3 pro se recorre 155.6 kilómetros con los mismos 4.17 galones de combustible, creando una diferencia 22 kilómetros favorables con la conversión.

#### 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar las pruebas tanto estáticas como dinámicas con un vehículo en perfectas condiciones para obtener resultados exactos.

- Realizar las conexiones eléctricas en el vehículo con los diagramas eléctricos y pin outs del fabricante para evitar averías en las computadoras del vehículo, utilizando una fusilera independiente que mediante fusibles y relay puedan proteger la computadora en caso de una mala instalación.
- Calibrar el dinamómetro respecto a las tablas de combustible, ignición y vvt-i. Utilizando siempre una Wideband la cual nos ayuda a ver que las calibraciones estén progresando y con ello obtener resultados más exactos.

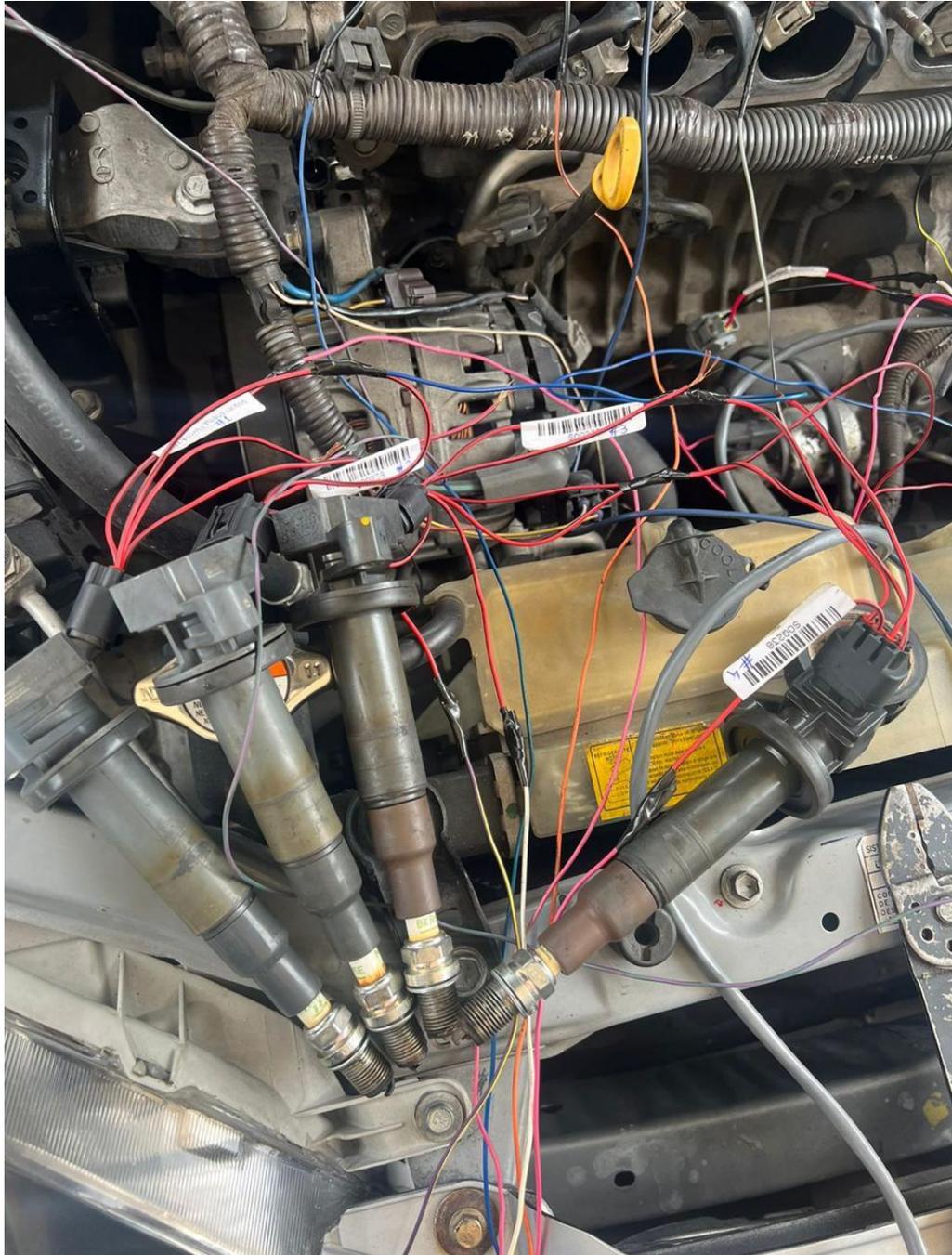
## BIBLIOGRAFÍA

1. **MALO BOZA, José Ignacio.** Diseño e implementación del sistema de accionamiento electromagnético para la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape de un motor de combustión interna de cuatro tiempos de 175 cc. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador. 2013. pp. 7-21 [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/167>
2. **CHIQUIMIA ARRATIA, Omar Alvaro.** Funcionamiento y diagnóstico del sistema de distribución variable del motor Toyota 1AZ-FSE con accionamiento VVT-i. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Mayor Pacensis Divi Andre, La Paz, Bolivia. 2018. pp. 12-13 [Consulta: 2023-11-26]. Disponible en: <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/22003>
3. **GARCÍA GUERRERO, Víctor Marcelo.** Control electrónico de variación de fase en el árbol de levas para un cabezote de un motor corsa. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador. 2014. pp. 35-37 [Consulta: 2023-11-21]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/882>
4. **SARALEGUI GUSTAVO & MARCONI Mariano.** *Parámetro de semejanza en MCIA.* [blog]. La Plata: Argentina, 2019. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-de-ixtlahuaca-cui/estadística/sistema-de-distribucion/41847464>
5. **CHUQUIMIA CASTRO, Jose Luis.** Diagnóstico del control de sincronización de la válvula VTC en el motor Nissan QG18DE. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Mayor Pacensis Divi Andre, La Paz, Bolivia. 201. pp. 27-32 [Consulta: 2023-11-30]. Disponible en: <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/28770>
6. **MONTERO MEJÍA, Carlos Adrián & PAGUAY GUAMÁN, Fredy Benjamín.** Estudio e implementación de un sistema de inyección electrónica programable para el aumento del rendimiento y disminución de gases de escape contaminantes en un vehículo Suzuki Forza GA. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2021. pp. 14-16 [Consulta: 2023-11-21]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21080>
7. **GARCÍA PÉREZ, Daniel Ricardo.** Estructuración, implementación y análisis de un sistema DOHC (Double Overhead Camshaft) en un motor de familia GM1 para aumentar el rendimiento de un vehículo de competencia de cilindraje 1,6 litros. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador. 2022. pp. 9-10 [Consulta: 2023-11-21]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/5160>

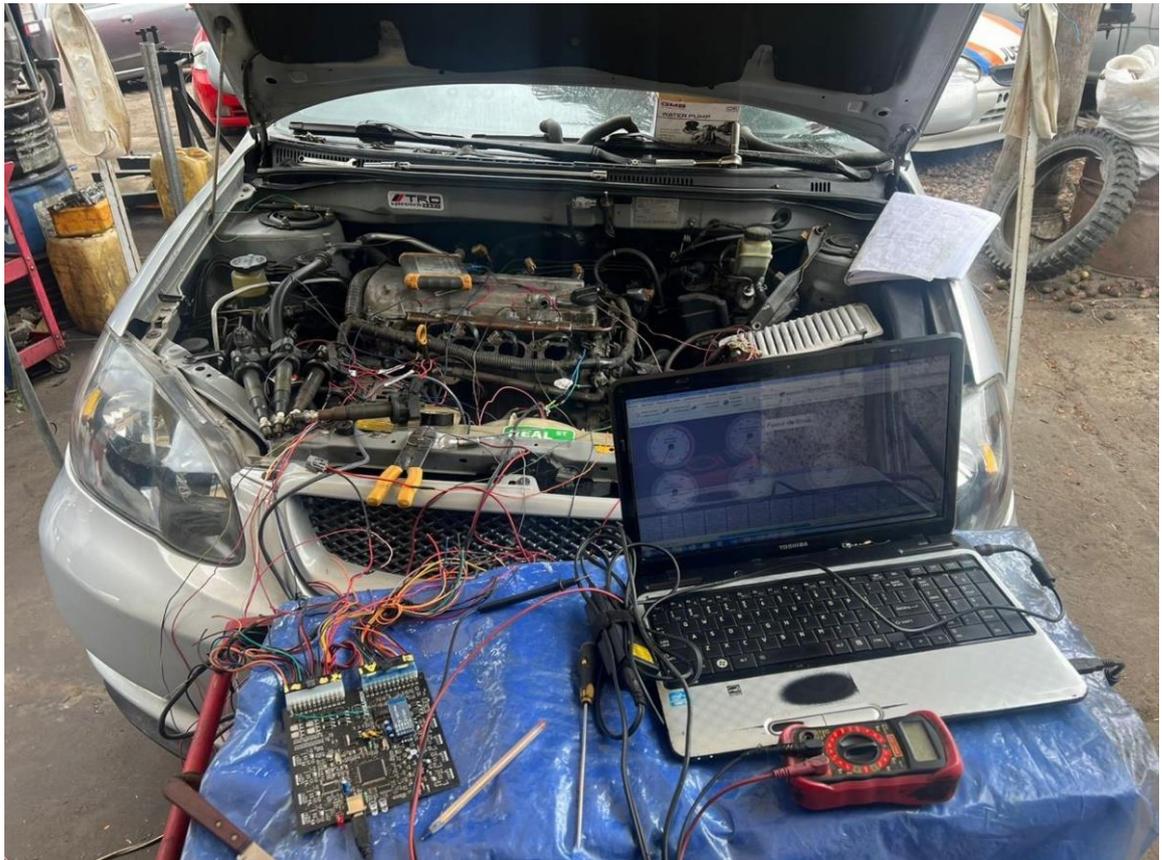
8. **DYAUTOTUNE.** *MS3Pro Ultimate Standalone Engine Management System.* Chicago: Estados Unidos. 2023. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <https://www.diyautotune.com/product/ms3pro-ultimate-standalone-engine-management-system/>
9. **MORALES SILVA, René Augusto.** Elaboración de un manual para el uso de la computadora reprogramable HALTRCH PRO1000. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador, 2013. pp. 4-10 [Consulta: 2023-11-21]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/2215>
10. **BARROS GORDILLO, Adrián Santiago.** Guía de instalación y programación de una computadora Haltech 1 500 Élite, en un motor 1.8 L para uso didáctico. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador, 2022. pp. 15-30 [Consulta: 2023-12-25]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11630>

## ANEXOS

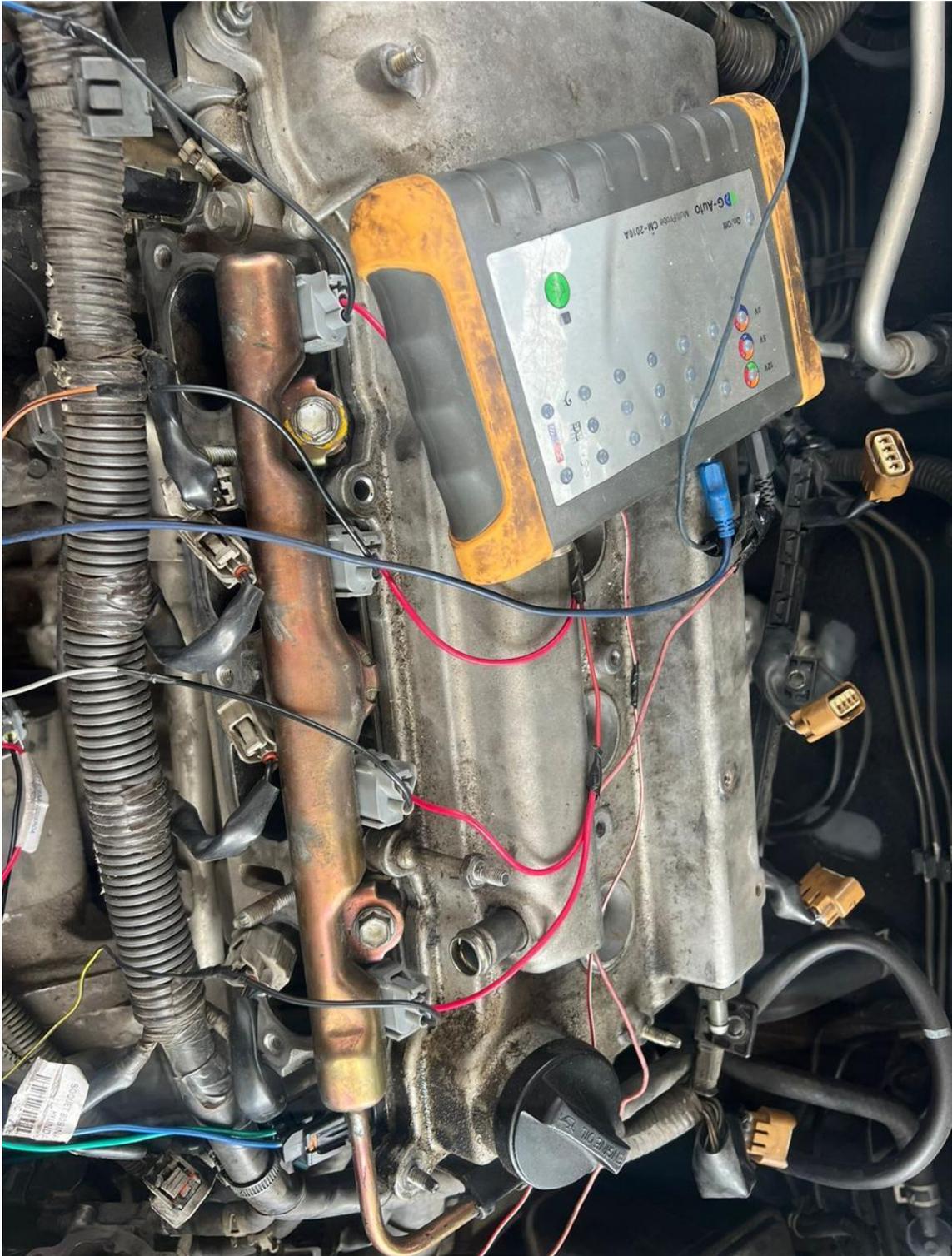
### ANEXO A: CABLEADO BOBINAS



## ANEXO B: PROGRAMACIÓN ECU



## ANEXO C: CABLEADO INYECTORES



## ANEXO D: PRUEBA DINAMÓMETRO



**ANEXO E: CALIBRACIONES MEDIANTE EL SOFTWARE TUNERSTUDIO.**

