



FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

“Implementación y Ajuste de ECU MicroSquirt en un Auto Renault Clio de Competición de Rally para la Maximización del Potencial de Rendimiento y Control Avanzado del Motor.”

Realizado por:

LUIS FERNANDO GRANDA MOSQUERA

Director del proyecto:

MSC. ELI BENJAMÍN FALCON CÁRDENAS

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

QUITO, abril del 2024

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Luis Fernando Granda Mosquera, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N° 1711241990, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.

LUIS FERNANDO GRANDA MOSQUERA

C.I.: 1711241990

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

Director de proyecto

MSC. ELI BENJAMÍN FALCON CÁRDENAS

LOS PROFESORES INFORMANTES:

MSC. MARÍA GABRIELA MANCHENO FALCONI

MSC. EDILBERTO ANTONIO LLANES CEDEÑO

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su
defensa

oral ante el tribunal examinador.

MSC. MARÍA GABRIELA MANCHENO FALCONI

MSC. EDILBERTO ANTONIO LLANES CEDEÑO

Quito, 20 de marzo de 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

LUIS FERNANDO GRANDA MOSQUERA

C.I.: 1711241990

Dedicatoria

Este proyecto está dedicado a mi familia, que ha sido mi fuente constante de apoyo y confianza. A mis padres, mi esposa, mis hijos y mi hermano, gracias por su amor y por estar a mi lado en cada paso del camino, incluso cuando mis propias fuerzas flaqueaban.

Agradecimiento

Me dirijo a mi fuente de fortaleza, a Dios, por ser la guía en los momentos de incertidumbre y por darme el coraje necesario para seguir adelante cuando los desafíos parecían insuperables.

A mis amados padres y a mi querida esposa, por ser el faro de mi vida. Todo su apoyo y comprensión han sido el aliento constante que me ha impulsado a perseverar, incluso en los días más difíciles.

A mis hijos, quienes con su risa y vivacidad me han recordado lo esencial de mantener un equilibrio entre el trabajo y el tiempo en familia, cuya presencia ha sido un alivio en los días más agotadores.

Finalmente, mi gratitud a la Universidad Internacional SEK, por ofrecerme el entorno propicio para el crecimiento académico y por el respaldo constante durante el proceso de investigación y redacción de esta tesis.

Resumen

El objetivo de la presente investigación consistió en llevar a cabo una propuesta de implementación y ajuste de la tarjeta ECU MicroSquirt en un Auto Renault Clio de Competición de Rally para poder maximizar el potencial de rendimiento y control avanzado del Motor, considerando además de su potencia, el torque y la eficiencia de este. Para llevar a cabo los objetivos planteados en este proyecto, se aplicó una metodología de investigación con enfoque cuantitativo, por medio de la cual se aplicó pruebas empíricas con las que se pudieron ir ajustando los parámetros de la tarjeta en base a la retroalimentación que iban surgiendo en cada paso de la instalación. La implementación de la ECU programable se hizo a través de una evaluación detallada del motor y de sus componentes, incluyendo la identificación de sensores y componentes que iban a ser integrados con la Microsquirt. De igual forma se desarrolló y ajustó los mapas de inyección y encendido por medio de pruebas detalladas tanto en dinamómetros como en condiciones reales de carrera. Entre los principales resultados de esta implementación se tuvo que la potencia y torque final obtenida fue de 102.86, es decir un 32.98 % de incremento, en los que el torque mejoró de manera significativa, especialmente en los rangos medios.

Palabras Clave: tarjeta ecu, microsquir, Renault clio, competencia, rally

Abstract

The objective of this research was to propose the implementation and adjustment of the MicroSquirt ECU card in a Renault Clio Rally Competition Car to maximize its performance potential and advanced engine control, considering not only its power but also its torque and efficiency. To achieve the objectives set in this project, a research methodology with a quantitative approach was applied, through which empirical tests were conducted to adjust the card's parameters based on the feedback generated at each installation step. The implementation of the programmable ECU was carried out through a detailed evaluation of the engine and its components, including the identification of sensors and components that would be integrated with the MicroSquirt. Likewise, injection and ignition maps were developed and adjusted through detailed testing both on dynamometers and in real race conditions. Among the main results of this implementation, the final power and torque obtained were 102.86, representing a 32.98% increase, with torque improving significantly, especially in the mid-range.

Keywords: ECU card, MicroSquirt, Renault Clio, competition, rally

Índice de Contenido

Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Resumen.....	8
Abstract	9
Introducción.....	1
Antecedentes.....	2
Planteamiento del Problema	3
Justificación	4
Objetivo General:	4
Objetivos Específicos.....	5
Hipótesis	5
Estudio del arte	6
Unidad de Control Electrónico (ECU).....	6
Fases de Procesamiento de Datos en la ECU	7
ECU Microsquirt.....	8
Ventajas del ECU Megasquirt	9
Sensores CKP	9
Funcionamiento de los Sensores CKP	9
Tipos de sensores CKP	9
Sensor de Reluctancia Variable (VR).....	9
Sensor de Efecto Hall	10
Conexiones de los Sensores CKP.....	10
Sensor de Reluctancia Variable (VR).....	10
Sensor de Efecto Hall	10
Oscilogramas	10
Sensor de Reluctancia Variable (VR).....	10
Sensor de Efecto Hall	11

Diagnóstico y Pruebas	12
Prueba de Resistencia (VR)	12
Prueba de Señal.....	12
Aplicaciones Prácticas.....	13
Inyectores de combustible	13
Componentes Principales.....	13
Proceso de Inyección	14
Uso de los Inyectores de Combustible Multipunto de Inyección Secuencial	14
Eficiencia de Combustión.....	14
Respuesta del Motor:.....	14
Control de Emisiones.....	14
Oscilogramas	15
Forma de Onda del Inyector	15
Análisis del Oscilograma.....	15
Ejemplo de Oscilograma.....	15
Diagnóstico y Problemas Comunes	16
Síntomas de Fallos.....	16
Diagnóstico	17
Mantenimiento y Limpieza.....	17
Rally.....	17
Modificaciones de los ECU para rallys	18
Gestión de unidades de control.....	19
Sistema de inyección	19
Mapeo de inyección y encendido.....	19
TPS (Sensor de posición del acelerador).....	20
Sensor de temperatura en el motor.....	20
Sensor IAT/MAT (temperatura del aire de admisión/colector).....	20
Sensor CLT (temperatura del refrigerante).....	22

MAP (Manifold Absolute Pressure) sensor.....	23
Válvula IAC (Idle Air Control)	25
Principio de Operación.....	25
Principales componentes	25
Uso de la Válvula IAC.....	25
Metodología	27
Método de investigación	27
Tipo de investigación	27
Diagrama de Flujo.....	30
Método	31
Fundamentos para la selección de la ECU programable MicroSquirt.....	33
Características del hardware de la ECU MicroSquirt.....	33
Características del software de la ECU MicroSquirt	34
Herramientas básicas para la instalación de la ECU MicroSquirt	35
Hardware del Sistema MicroSquirt.....	36
Entradas de sensores y Salidas a Actuadores	38
Selección de cables y conectores	38
Protección eléctrica con fusibles	39
Armado y confección del arnés	40
Enrutamiento de alimentación de Relés y Accesorios.....	40
Esquemas de puesta a tierra	40
Diagrama del cableado de conexión de la ECU programable MicroSquirt	43
Entradas de sensores	45
Salidas de la ECU programable MicroSquirt	51
Inyectores.....	52
Salidas de bobina de encendido.....	52
Salida de la bomba de combustible	53
Salida de tacómetro.....	54

Programación de la ECU Programable MicroSquirt	55
Apertura del programa3.....	56
Presentación de Resultados.....	64
Calibración ECU programable MicroSquirt en dinamómetro	64
Resultados Obtenidos.....	66
Gráficos y Datos	69
Discusión de Resultados	70
Conclusiones.....	73
Recomendaciones.....	75
Listado de Referencias.....	77

Índice de Figuras

Figura 1 Componentes de una ECU	6
Figura 2 Componentes principales de Microsquirt ECU.....	8
Figura 3 Sensor de reluctancia variable	10
Figura 4 Sensor de tipo hall	11
Figura 5 Parámetros de funcionamiento del sensor CKP.....	12
Figura 6 Ejemplos de oscilograma	15
Figura 7 Comparación de sistemas de inyección	16
Figura 8 Sensor de posición del acelerador	20
Figura 9 Sensor IAT/MAT	21
Figura 10 Ubicación del Sensor IAT/MAT	21
Figura 11 Ubicación del Sensor CLT	22
Figura 12 Sensor CLT	23
Figura 13 Ubicación del sensor MAP	24
Figura 14 Sensor MAP	24
Figura 15 Comparación de tipos de válvulas IAC	26
Figura 16 Ubicación de la válvula IAC	26
Figura 17 Diagrama de Flujo	29
Figura 18 Micro Squirt ECU	35
Figura 19 Diagrama de Instalación de la ECU MicroSquirt.....	36
Figura 20 Distancia de orificios de la ECU MicroSquirt	37
Figura 21 Arnés de instalación	38
Figura 22 Cable de interfaz.....	39
Figura 23 Diagrama correcto de instalación de tierra	41
Figura 24 Diagrama incorrecto de instalación de tierra	42
Figura 25 Diagrama de instalación de ECU MicroSquirt	43
Figura 26 Pinado de ECU MicroSquirt	44
Figura 27 Sensor CKP.....	45

Figura 28 <i>Sensor MAP</i>	45
Figura 29 <i>Diagrama del sensor MAP</i>	46
Figura 30 <i>Respuesta del sensor MAP</i>	46
Figura 31 <i>Sensor IAT</i>	47
Figura 32 <i>Diagrama del sensor IAT</i>	48
Figura 33 <i>Respuesta del sensor IAT</i>	48
Figura 34 <i>Señal que recibe la ECU</i>	49
Figura 35 <i>Sensor CLT</i>	49
Figura 36 <i>Diagrama del sensor CLT</i>	50
Figura 37 <i>Sensor TPS</i>	50
Figura 38 <i>Diagrama del sensor TPS</i>	51
Figura 39 <i>Inyectores</i>	52
Figura 40 <i>Sistema de encendido DIS de chispa perdida</i>	52
Figura 41 <i>Conexión de bobinas 4 cables</i>	53
Figura 42 <i>Diagrama de bomba de combustible</i>	53
Figura 43 <i>Diagrama de tacómetro</i>	54
Figura 44 <i>ECU Energizada</i>	54
Figura 45 <i>Pantalla de Inicio de Tunner Studio</i>	56
Figura 46 <i>Creación del proyecto en Tunner Studio</i>	56
Figura 47 <i>Opción para ingreso de datos de motor</i>	57
Figura 48 <i>Ingreso de datos de motor</i>	58
Figura 49 <i>Ingreso de datos de configuración para cálculo de combustible</i>	58
Figura 50 <i>Ingreso de datos de combustible</i>	59
Figura 51 <i>Configuración de chispa</i>	60
Figura 52 <i>Configuración de encendido</i>	60
Figura 53 <i>Tabla de ajustes de combustible</i>	61
Figura 54 <i>Mapa 3D del ajuste de combustible</i>	62
Figura 55 <i>Datos de avance de encendido</i>	62

Figura 56 <i>Mapa 3D del ajuste de encendido</i>	62
Figura 57 <i>Pantalla principal para encendido del auto</i>	63
Figura 58 <i>Mapa inicial combustible</i>	65
Figura 59 <i>Mapa inicial de encendido</i>	66
Figura 60 <i>Gráficos de potencia final Renault clio</i>	66
Figura 61 <i>Gráficos de potencia original Renault clio</i>	67
Figura 62 <i>Tabla de combustible</i>	68
Figura 63 <i>Tabla de encendido</i>	68
Figura 64 <i>Tabla 3D AFR</i>	69
Figura 65 <i>Tabla numérica AFR</i>	70

Introducción

Los automóviles de producción son fabricados con una potencia predeterminada que cumple con una serie de requisitos como confort, rendimiento, seguridad y eficiencia, los cuales son establecidos por normativas específicas de cada país según su uso (Carrera, 2018). De acuerdo con Amaya (2017), la implementación de un software en el sistema electrónico del vehículo permite optimizar los parámetros del motor de combustión interna sin que se tenga que llevar a cabo algún tipo de modificación mecánica. Esto significa que a través la reprogramación o ajuste de la unidad de control electrónica (ECU) se puede mejorar el funcionamiento del motor, permitiendo ajustes precisos y personalizados para adaptarse a las necesidades específicas del auto.

El objetivo de reprogramar la ECU no solo mejora el rendimiento del motor, sino que también puede aumentar la eficiencia del combustible y disminuir las emisiones contaminantes, un proceso conocido como chiptuning, el cual permite a los entusiastas del automovilismo y a los equipos de competición ajustar los mapas de inyección de combustible y los tiempos de encendido para maximizar la potencia y el torque. Además, puede ajustar el comportamiento del motor a diversas condiciones de conducción y estilos de manejo, ya sea para un uso diario más eficiente o para alcanzar el máximo rendimiento en un entorno competitivo. Así, los vehículos pueden transformarse significativamente, ofreciendo un rendimiento superior sin comprometer la fiabilidad y durabilidad del motor.

En este contexto, y considerado el incremento en la personalización de vehículos destinados a competiciones deportivas, conocidos como Rallys se procede llevar a cabo el presente proyecto, en el que se procederá a realizar la implementación y ajuste de ECU MicroSquirt en un Auto Renault Clio de Competición de Rally para la Maximización del Potencial de Rendimiento y Control Avanzado del Motor.

Antecedentes

Dado el progreso y la introducción de sistemas que se gestionan de forma electrónica, utilizando tecnología digital basada en microcontroladores, los sistemas del motor han ido avanzando gradualmente hacia un control completamente electrónico. Este desarrollo ha alcanzado un punto en el que el usuario ya no controla directamente los componentes mecánicos; ya que es el sistema de control que, por medio de señales, determina las acciones que deben llevarse a cabo (Trujillo et al., 2020).

La ECU, también conocida como Unidad de Control del Motor, desempeña un papel esencial en los vehículos modernos al procesar señales de diversos sensores. Su función principal es evaluar, calcular y enviar señales de respuesta para activar los actuadores del vehículo. Esta capacidad permite un control preciso del motor y sus sistemas asociados, asegurando un equilibrio entre eficiencia, potencia y control (Guilcamaigua et al., 2023).

El estudio del sistema de control original del motor abarca una amplia gama de áreas, desde la electrónica del vehículo hasta la investigación para desarrollar nuevos avances; de manera, que se busca comprender los aspectos clave del sistema de control para que puedan cumplir con los requisitos de potencia instantánea y adquirir variables de operación como temperatura y presión para satisfacer la demanda de potencia del motor, considerando la implementación de estrategias que mejoren el rendimiento, disminuyan el consumo de combustible y las emisiones nocivas, aprovechando en este sentido las tecnologías emergentes en el motor (Trujillo et al., 2020).

De manera que, la evolución ha permitido que avancen de forma considerable, haciendo que algunos vehículos modernos sean comparados con computadoras móviles. En el caso de los Renault Clio, la mayoría de los controladores presentes no son configurables, lo que significa que los mapas de control que definen los ajustes para la entrega de combustible y el acoplamiento de la ignición están predefinidos. Esta decisión es comprensible desde la perspectiva de los fabricantes, ya que garantiza que el motor opere

dentro de los límites permitidos y cumpla con los estándares de emisiones, eficiencia de combustible y durabilidad.

Planteamiento del Problema

Los rallyes son competiciones automovilísticas donde el objetivo es completar un tramo de carretera, que puede variar en superficie, en el menor tiempo posible y que a diferencia de otras disciplinas, el enfoque está en vencer al cronómetro. El ganador es el que registra el tiempo más bajo en la suma de todos los tramos del rally. De manera que, no solo se valora la velocidad, sino también la solidez y durabilidad de los distintos componentes del vehículo (Lázaro, 2023).

Entre los avances que se han generado e implementado se tiene a la unidad ECU, la misma que gestiona la electrónica, sensores y los sistemas de asistencia al conductor, no solo suministrando datos a los ingenieros del equipo, sino que también permite al piloto analizar su estilo de conducción con precisión durante una competencia (SKODA, 2020). Sin embargo, Renault Clio debe atender algunos factores específicos de competición para mejorar su rendimiento y control durante una competencia ya que los modelos han evolucionado hacia nuevos diseños, aumento de tecnología e incluso un salto en calidad en materiales, pero no se ha considerado cambios en el ECU MicroSquirt.

Por tanto, la implementación del módulo de control ECU MicroSquirt en un Auto Renault Clio busca equilibrar el suministro de combustible otorgado al cilindro en cada instancia con el fin de optimizar constantemente el rendimiento del motor ya que la cantidad inyectada en cualquier momento está determinada por variables como la velocidad de rotación del motor, la posición del pedal del acelerador, la presión, y otros factores relevantes; precisamente, al intervenir en la electrónica del motor y ajustar los parámetros de la unidad de control electrónico, se logran tiempos de arranque más cortos y una mayor aceleración. Esta acción permite mejorar y maximizar el rendimiento del motor, mejorando la eficiencia del arranque y la respuesta durante la aceleración

Justificación

La electrónica automotriz ha experimentado una evolución significativa con el objetivo de mejorar continuamente su tecnología (Expreso, 2024), un progreso que se refleja en su constante modernización y adaptación de modificaciones de los parámetros característicos de los diferentes automotores. Por lo que, para competir en este tipo de competencias se deben examinar las opciones disponibles de acuerdo con el ECU del Auto Renault Clio. Sin embargo, es importante considerar que, si se realizan cambios en el motor, estas herramientas de optimización pueden ser aún más efectivas ya que su potencial se maximiza cuando se combinan con ajustes en el motor mismo.

El presente estudio se enfocará en el ámbito de la electrónica automotriz, proporcionando una comprensión detallada del funcionamiento y la estructura de la unidad de control electrónica de un automóvil de competencia. Además, se investigará el impacto del uso de software especializado en la reprogramación del ECU del motor, lo que dará lugar a nuevos enfoques de estudio y conocimientos relevantes en este ámbito. Específicamente, se analizará el caso de las ECUs de un Auto Renault Clio para maximizar el rendimiento y lograr un control avanzado del motor, en preparación para su empleo en competiciones de rally.

Objetivo General:

Implementar el módulo de control ECU MicroSquirt en un Auto Renault Clio mediante la calibración y optimización de sus parámetros electrónicos para la maximización del rendimiento y el control avanzado del motor, que será empleado en competencias de rally

Objetivos Específicos

- Analizar el funcionamiento de la ECU programable MicroSquirt, identificando sus características clave y su máximo potencial para mejorar el rendimiento en un auto de rally Renault Clio.
- Implementar la ECU programable MicroSquirt en el sistema de gestión motor de un auto Renault Clio de competición de rally, asegurando una integración eficiente y la compatibilidad con los componentes de encendido del vehículo.
- Realizar ajustes en los parámetros de la ECU programable MicroSquirt, utilizando técnicas de calibración en Dinamómetro y en pruebas de condiciones reales de competición, con la intención de optimizar el potencial de rendimiento del motor.

Hipótesis

La implementación y ajuste de la ECU MicroSquirt en el Renault Clio de rally aumentará significativamente su rendimiento y control del motor.

Estudio del arte

Unidad de Control Electrónico (ECU)

Este tipo de unidad se compone esencialmente tanto de hardware como software (firmware), en el que su hardware consiste en una serie de elementos electrónicos ubicados en una PCB o también conocido como Placa de Circuito Impreso, donde el elemento central es un microcontrolador acompañado de un EPROM o una memoria Flash. Cabe mencionar que el firmware es un conjunto de códigos de programación de bajo nivel que se ejecutan en el microcontrolador (Rodríguez, 2018). A continuación, se muestra el esquema de una ECU:

Figura 1

Componentes de una ECU



Nota. Imagen tomada de (Rodríguez, 2018).

Como se ha observado en la figura 1 entre los elementos se tienen componentes complementarios en el bloque de Input donde se muestran amplificadores, filtros, conversores analógico-digitales, comparadores y recortadores, etc. Mientras que en la parte

de la salida se tienen drives, microcontroladores, bobinas de encendido, inyectores, relés y otros elementos periféricos de potencia (Vilema et al., 2022).

Entre las funciones principales de la ECU están las de procesar la información necesaria para activar los pulsos de inyección de combustible, coordinándolos con los datos proporcionados por los sensores de revoluciones del motor. Esta información permite ajustar el momento oportuno del encendido del motor (Vilema et al., 2022). Además, controla varios sistemas, como la transmisión, los frenos y el aire acondicionado a través de funciones y cálculos que permiten mejorar la eficiencia durante la conducción (Barrera, 2023).

Fases de Procesamiento de Datos en la ECU

Las fases de procesamientos de datos en la ECU se detallan a continuación:

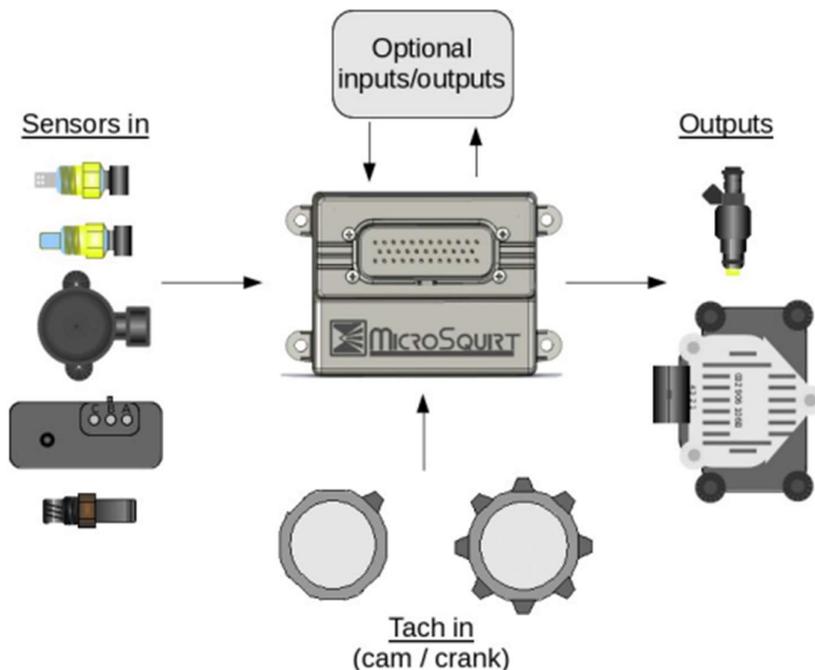
- Interfaz de entrada y salida: donde todos los sensores envían señales a la ECU y este también lo hace hacia los actuadores.
- Filtrado de señales: su objetivo es eliminar cualquier interferencia o ruido que pueda generarse durante la transmisión de la señal de un sensor. En este punto, principalmente actúan el circuito de filtrado y el conector correspondiente.
- Convertidor Analógico y Digital: de esta manera, se procesan las señales digitales, lo que implica que las señales provenientes de sensores analógicos se transforman a formato digital antes de ser interpretadas.
- Procesamiento: se encarga de recibir las señales transmitidas por los sensores, procesar los datos y llevar a cabo los cálculos necesarios para determinar qué actuadores se utilizarán con el fin de asegurar un funcionamiento óptimo del motor.
- Potencia: Se trata de prevenir la sobrecarga de sus componentes mediante el trabajo de transistores y microprocesadores (Arévalo y Mendoza, 2023).

ECU Microsquirt

La Microsquirt ECU recibe las señales de varios sensores de entrada y posteriormente gestiona la salida de combustible y la chispa para hacer funcionar el motor, cabe mencionar que este componente está diseñado para ser resistente a salpicaduras y utiliza internamente componentes electrónicos de alta calidad automotriz. No obstante, su diseño no contempla su instalación en el compartimento del motor; ya que generalmente se monta debajo del tablero en un automóvil o bajo el asiento en una motocicleta, manteniéndola alejada de las temperaturas directas del motor (Megasquirt, 2015). A continuación, se muestran sus componentes principales:

Figura 2

Componentes principales de Microsquirt ECU



Nota. Imagen tomada de (Megasquirt, 2015)

Ventajas del ECU Megasquirt

Tal como lo indica Coronel (2024), la ECU Megasquirt ofrece diversas posibilidades para mejorar diferentes aspectos de un automóvil convencional:

- Mejora la potencia, el par motor y la respuesta del acelerador.
- Optimiza el uso de combustible en diferentes condiciones de conducción y mejora la economía de combustible.
- Cumple con las regulaciones actuales de emisiones y reduce las emisiones de un vehículo.
- Para la construcción de un vehículo de competición personalizado, ya que proporciona un alto nivel de control y ajuste, convirtiéndola en una opción óptima para vehículos de competición.

Sensores CKP

Los sensores CKP (Crankshaft Position Sensors) o sensores de posición del cigüeñal son dispositivos esenciales en los sistemas de gestión del motor de los automóviles. A continuación, se ofrece una descripción detallada de su funcionamiento, tipos, conexiones, oscilogramas y tablas comparativas de uso.

Funcionamiento de los Sensores CKP

Los sensores CKP vigilan la posición y la velocidad del cigüeñal, suministrando datos relevantes a la ECU para sincronizar el encendido y la inyección de combustible.

Tipos de sensores CKP

Sensor de Reluctancia Variable (VR)

Este tipo de sensor genera una señal de voltaje alterno (AC) cuando los dientes del anillo del cigüeñal pasan por el campo magnético del sensor. En cuanto a la señal de salida, establece un voltaje AC que varía en frecuencia y amplitud con la velocidad del motor,

asimismo su estructura consiste en un núcleo magnético alrededor del cual se enrolla una bobina de alambre.

Sensor de Efecto Hall

Emite una señal digital en respuesta a cambios en el campo magnético causado por los dientes del anillo del cigüeñal, cabe mencionar que su señal es cuadrada (ON/OFF) que indica la posición del cigüeñal. En cuanto a su estructura, es un semiconductor sensible a campos magnéticos con un circuito de procesamiento integrado.

Conexiones de los Sensores CKP

Sensor de Reluctancia Variable (VR)

Conector de 2 Pines:

- Pin 1: Señal Positiva (AC)
- Pin 2: Señal Negativa (Tierra)

Sensor de Efecto Hall

Conector de 3 Pines:

- Pin 1: Tierra (Ground)
- Pin 2: Señal de Salida (Digital)
- Pin 3: Suministro de Voltaje (usualmente 5V)

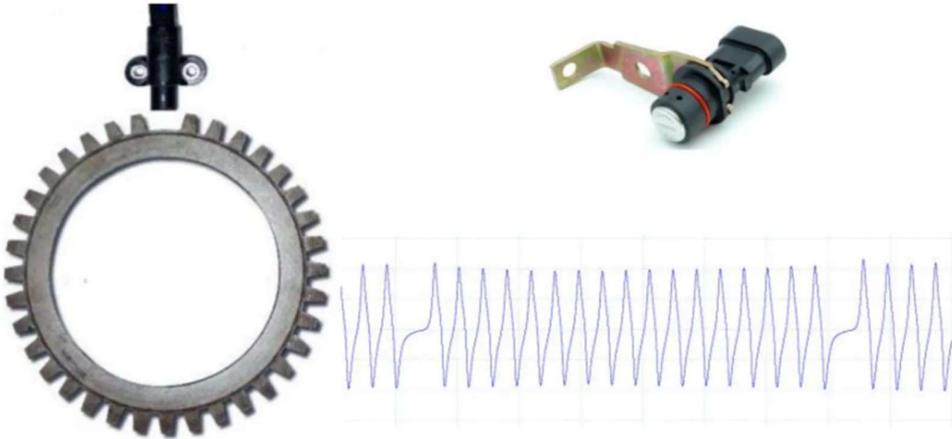
Oscilogramas

Sensor de Reluctancia Variable (VR)

Figura 3

Sensor de reluctancia variable

Sensor de Reluctancia Variable



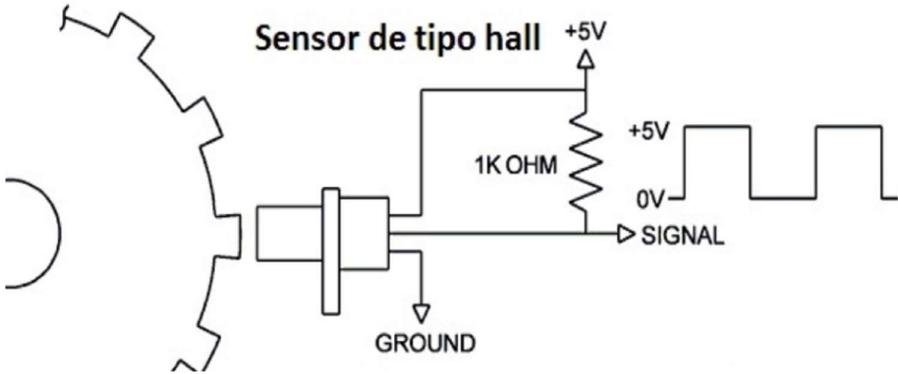
Nota. Sensor de reluctancia variable

Muestra una señal de voltaje alterno (AC) que varía en amplitud y frecuencia con la velocidad del motor. Los picos de voltaje corresponden a los dientes del anillo del cigüeñal pasando por el sensor.

Sensor de Efecto Hall

Figura 4

Sensor de tipo hall



Nota. Sensor de tipo hall

Muestra una señal digital cuadrada (ON/OFF). La señal cambia de alto a bajo (o viceversa) en correspondencia con los dientes del anillo del cigüeñal.

Figura 5

Parámetros de funcionamiento del sensor CKP

Característica	Sensor de Reluctancia Variable (VR)	Sensor de Efecto Hall
Tipo de señal	AC	Digital (cuadrada)
Frecuencia de señal	Proporcional a la RPM	Proporcional a la RPM
Amplitud de señal	Variable con la velocidad	Fija (usualmente 5V)
Conexiones típicas	2 pines	3 pines
Resistencia típica	200 - 2000 ohms	N/A (semiconductor)
Sensibilidad a fallos	Sensible a suciedad y residuos	Menos sensible a interferencias
Usos comunes	Motores más antiguos	Motores modernos

Nota. Esta imagen presenta las características del sensor CKP

Diagnóstico y Pruebas

Prueba de Resistencia (VR)

- Desconectar el sensor del arnés.
- Usar un multímetro para medir la resistencia entre los terminales.
- Comparar el valor medido con las especificaciones del fabricante (generalmente entre 200 y 2000 ohms).

Prueba de Señal

- Con el motor en marcha, usa un osciloscopio para observar la señal del sensor.
- Para sensores VR, verifica la presencia de una señal AC consistente.
- Para sensores de efecto Hall, verifica la presencia de una señal cuadrada.

Aplicaciones Prácticas

Los sensores CKP son importantes para la sincronización del motor y la eficiencia del combustible. Aquí hay algunos ejemplos de aplicaciones prácticas:

- Sincronización del Encendido: La ECU usa la señal del sensor CKP para determinar el momento preciso para encender la chispa en los cilindros.
- Inyección de Combustible: La ECU ajusta el momento y la cantidad de combustible inyectado basado en la señal del sensor CKP.
- Control de Emisiones: Un sensor CKP en buen estado ayuda a mantener el motor funcionando eficientemente, reduciendo las emisiones contaminantes.

Mantener el sensor CKP en buen estado es determinante para el rendimiento óptimo del motor. Cabe mencionar que, si se presentan problemas como dificultad para arrancar el motor, marcha irregular o fallos de encendido, es recomendable realizar una revisión y diagnóstico adecuado.

Inyectores de combustible

Los inyectores de combustible multipunto de inyección secuencial son un componente esencial en los sistemas modernos de gestión del motor. Entre los inyectores de combustible se destacan los Inyectores Multipunto (MPI), que se caracterizan porque cada cilindro del motor está equipado con su propio inyector, el cual suministra combustible directamente a la entrada de cada cilindro. Por su parte, en la Inyección Secuencial, los inyectores se activan secuencialmente en sincronía con las fases del ciclo de operación de los cilindros, en lugar de todos al mismo tiempo.

Componentes Principales

- Inyectores: Válvulas electromagnéticas que atomizan y suministran combustible.
- ECU (Unidad de Control del Motor): Controla la apertura y el cierre de los inyectores basándose en múltiples parámetros del motor.

- Sensores: Suministran datos en tiempo real a la ECU, incluyendo la posición del cigüeñal y el árbol de levas, temperatura del motor, flujo de aire, entre otros.

Proceso de Inyección

- Los sensores del motor envían datos a la ECU.
- Con base en estos datos, calcula el instante adecuado y la cantidad de combustible que cada inyector debe suministrar.
- Los inyectores se activan secuencialmente en el momento óptimo del ciclo de operación de cada cilindro para maximizar el rendimiento de la combustión y del motor.

Uso de los Inyectores de Combustible Multipunto de Inyección Secuencial

Eficiencia de Combustión

- Asegura una mezcla aire-combustible más precisa y uniforme en cada cilindro.
- Aumenta la eficiencia del motor y disminuye las emisiones contaminantes.

Respuesta del Motor:

- La inyección secuencial posibilita una respuesta más ágil del motor ante cambios en la demanda de aceleración.
- Proporciona un mejor rendimiento bajo diferentes condiciones de carga y velocidad.

Control de Emisiones

Ayuda a cumplir con normativas estrictas de emisiones al controlar de manera precisa la cantidad de combustible inyectado en cada ciclo.

Oscilogramas

Los oscilogramas son representaciones gráficas de las señales eléctricas que controlan los inyectores. Un osciloscopio se utiliza para capturar estas señales y analizarlas.

Forma de Onda del Inyector

La señal de control de un inyector de combustible típicamente se presenta como una onda cuadrada en la que se considera una Parte Alta de la Onda (ON), un tiempo que indica la duración en la que el inyector permanece abierto y se realiza la inyección de combustible. Asimismo, tiene una Parte Baja de la Onda (OFF), que representa el tiempo durante el cual el inyector está cerrado.

Análisis del Oscilograma

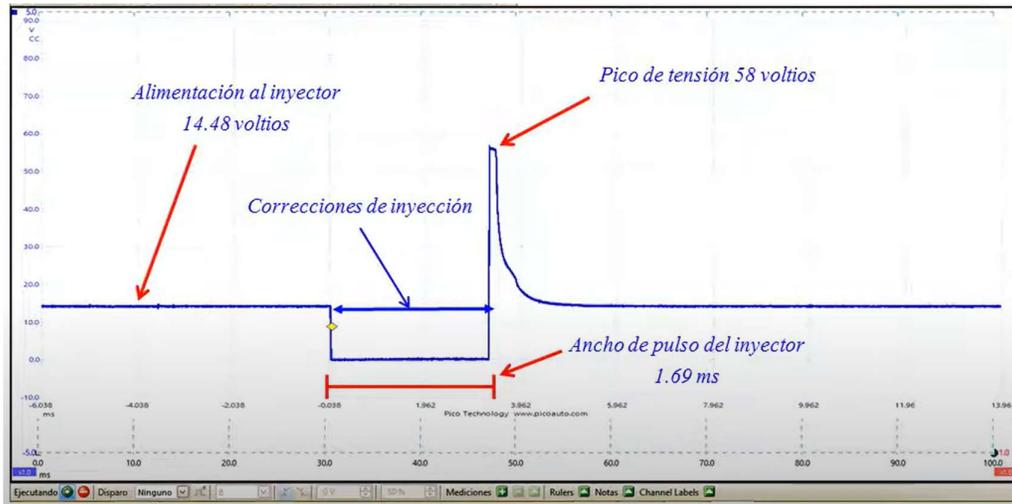
- Duración del Pulso: La duración del pulso (tiempo ON) indica la cantidad de tiempo que el inyector permanece abierto, lo que a su vez determina la cantidad de combustible inyectado.
- Frecuencia del Pulso: La frecuencia con la que los pulsos ocurren está sincronizada con las fases del ciclo del motor.

Ejemplo de Oscilograma

- Inyector Abierto (ON): Un pulso alto (5V típico) que puede durar entre 2 a 15 milisegundos, dependiendo de las condiciones del motor.
- Inyector Cerrado (OFF): Un pulso bajo (0V) durante el resto del ciclo del motor.

Figura 6

Ejemplos de oscilograma



Nota. Ejemplo de oscilograma en cuanto a alimentación al inyector, pico de tensión y correcciones.

Figura 7

Comparación de sistemas de inyección

Característica	Inyección Secuencial	Inyección Simultánea	Inyección en Lote
Precisión de Inyección	Alta	Baja	Media
Eficiencia de Combustión	Alta	Baja	Media
Emisiones	Bajas	Altas	Medias
Complejidad	Alta	Baja	Media
Respuesta del Motor	Rápida	Lenta	Media
Control por ECU	Avanzado	Básico	Intermedio

Nota. Comparación de sistemas de inyección con respecto a la característica e inyección de tipo secuencial, simultanea y lote

Diagnóstico y Problemas Comunes

Síntomas de Fallos

- Ralentí inestable.

- Pérdida de potencia.
- Incremento en el consumo de combustible.
- Emisiones elevadas.
- Fallos de encendido.

Diagnóstico

- Prueba de Resistencia: Usar un multímetro para medir la resistencia de los inyectores. Un valor fuera de especificaciones puede indicar un inyector defectuoso.
- Prueba de Señal: Usar un osciloscopio para verificar las señales de control de los inyectores. Señales irregulares pueden indicar problemas en el circuito de control o en la ECU.

Mantenimiento y Limpieza

- Limpieza Regular: Los inyectores deben limpiarse periódicamente para eliminar depósitos de carbono y garantizar una adecuada atomización del combustible.
- Reemplazo: Si un inyector está defectuoso y no se puede reparar, es necesario reemplazarlo con el fin de conservar el rendimiento óptimo del motor.

Cabe mencionar que, los inyectores de combustible multipunto de inyección secuencial permiten controlar con precisión la mezcla aire-combustible garantizando una combustión eficiente y mejorando la respuesta del motor y reduciendo las emisiones. En tal sentido, entender su funcionamiento y diagnosticar posibles problemas es esencial para mantener adecuadamente el sistema de inyección de un vehículo.

Rally

El rally se considera como una modalidad de competición automovilística que se lleva a cabo en carreteras abiertas al tráfico público, las cuales son cerradas para estos

eventos. Cada segmento de carretera utilizado para la competición se conoce como tramo de velocidad, y las tripulaciones compiten para completarlo en el menor tiempo posible, clasificando según la categoría determinada por el cilindraje del motor de sus vehículos (López, 2018).

También se define como una competición de vehículos (automóviles, motocicletas, camiones, etc.) que se centra en dos parámetros principales: la velocidad y el tiempo. Se lleva a cabo en tramos llamados etapas, que pueden tener lugar en una variedad de superficies como tierra, arena, barro, asfalto, nieve, etc., sin importar las condiciones climáticas del lugar. A nivel mundial, el Rally está regulado por la Federación Internacional de Automovilismo (FIA), y las competiciones pueden variar desde eventos regionales hasta competiciones a nivel nacional y continental. Se tiene como ejemplo el Rally Dakar en Sudamérica, el Rally Montecarlo en Europa, y otros eventos similares en diferentes partes del mundo (Alencastro y Guamancuri, 2023).

Modificaciones de los ECU para rallys

El software utilizado por la ECU es específico para cada motor y está diseñado por el fabricante con el fin de optimizar el rendimiento del motor en diversos aspectos como consumo de combustible, confort y aceleración. Cuando se desea utilizar el motor para competición, es común reemplazar o reprogramar la ECU con nuevos mapas (Lázaro, 2023).

De acuerdo con el reglamento, algunos elementos de la inyección pueden ser modificados, siempre y cuando no alteren el principio de funcionamiento original ni la disposición de los componentes. Por ejemplo, se permite ajustar el caudal de los inyectores de combustible, pero no se permite cambiar su principio de funcionamiento o su ubicación. Lo mismo aplica para la rampa de inyección (Lázaro, 2023). Además, es necesario instalar un sistema de refrigeración del aceite, dado que las temperaturas de trabajo en competición son más altas que en un motor convencional. La bomba de agua debe mantenerse original,

pero se permite sustituir el radiador por uno más grande, siempre y cuando se mantenga dentro de la carrocería y no se realicen modificaciones en la misma para su instalación, ya que debe colocarse en el lugar designado originalmente por el reglamento (Lázaro, 2023).

Gestión de unidades de control

La gestión de las unidades de control se orienta a activar los actuadores, esto se realiza mediante drivers de activación o transistores de alta potencia. Estos componentes se utilizan en el sistema de encendido para permitir que las bobinas generen los pulsos necesarios para la chispa de ignición. Es importante tener en cuenta que el rendimiento óptimo de cada ECU está determinado por los materiales empleados en estos drivers, transistores u otros elementos internos. Esto se debe a que aproximadamente el 20% de las pérdidas de eficiencia en los controladores electrónicos se deben a la disminución de potencia de estos elementos. (Vilema et al., 2022).

Sistema de inyección

El sistema de inyección es dirigido por la ECU, la cual mide y supervisa el desempeño del motor, lo que incluye la cantidad de aire aspirado del ambiente para ajustar la inyección de combustible en función de las condiciones de funcionamiento del motor. Este proceso garantiza una combustión óptima, buscando una mezcla de aire-combustible lo más cercana posible a la relación estequiométrica ideal que, en términos de la relación de aire-combustible, se apunta a mantenerla cerca de 1 (Tulcanaz et al., 2022).

Mapeo de inyección y encendido

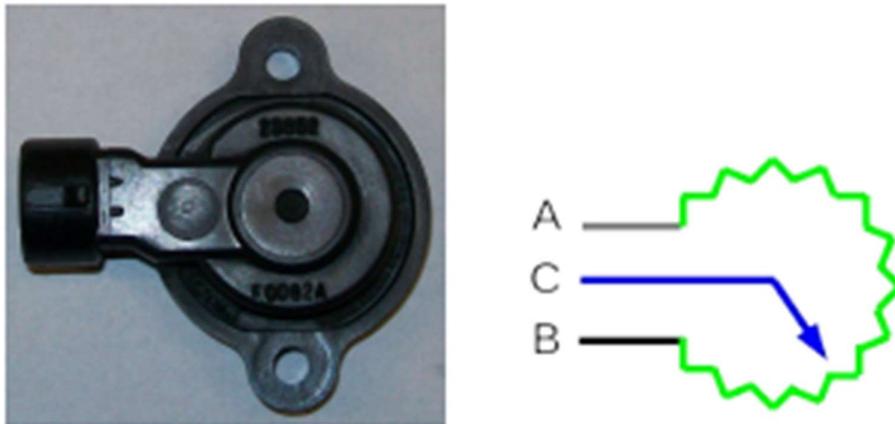
La inyección y encendido se llevan a cabo mediante un dispositivo electrónico programable que, sin importar la marca, se fundamenta en los valores obtenidos durante el proceso de interpolación. La interpolación implica extraer puntos de un conjunto de datos. En ingeniería y otras disciplinas, se pueden obtener numerosos puntos a través de muestreos o experimentos para generar una función apropiada (Santillán, 2022).

TPS (Sensor de posición del acelerador)

El sensor TPS, también llamado Sensor de Posición del Acelerador en inglés, se encarga de detectar el ángulo de apertura de la mariposa del acelerador y convertir esta información en una señal eléctrica. Con base en esta señal, la ECU recibe información sobre la intención del conductor de acelerar o desacelerar y en base a estos datos, la ECU calcula la cantidad de combustible necesaria para el motor (Quezada et al., 2018).

Figura 8

Sensor de posición del acelerador



Nota. Imagen tomada de (Megasquirt, 2015)

Sensor de temperatura en el motor

Los sensores de temperatura detectan la temperatura del líquido refrigerante, del aceite y del aire y posteriormente, transmiten esta información a la unidad de control electrónico (ECU) del motor. Estos sensores pueden ubicarse dentro del bloque del motor, en el sistema de refrigeración, o en el conducto de admisión de aire (Barreto, 2021).

Sensor IAT/MAT (temperatura del aire de admisión/colector)

El sensor IAT controla la temperatura del aire que entra en los motores de combustión interna y para ello, utiliza un termistor para detectar cambios en la resistencia

eléctrica en función de la temperatura. Estos datos se envían a la ECU, la cual ajusta la relación aire-combustible según la temperatura detectada (Mayancela y Crespo, 2023). Cabe mencionar que, se encuentra instalado en el sensor MAF y puede registrar los niveles de temperatura que este alcanza, permitiendo medir la masa de aire aspirada y su capacidad de medición de temperatura abarca desde -40°C hasta $+120^{\circ}\text{C}$ (Burgos y Pacheco, 2018).

Figura 9

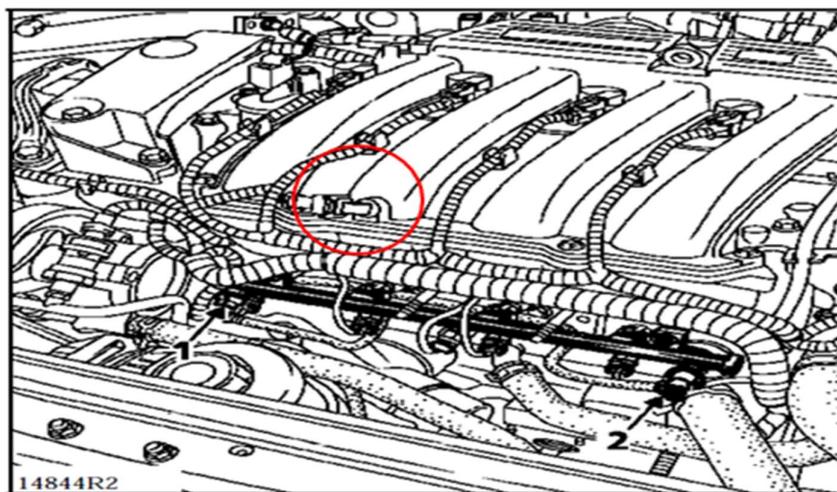
Sensor IAT/MAT



Nota. Imagen tomada de (Megasquirt, 2015)

Figura 10

Ubicación del Sensor IAT/MAT



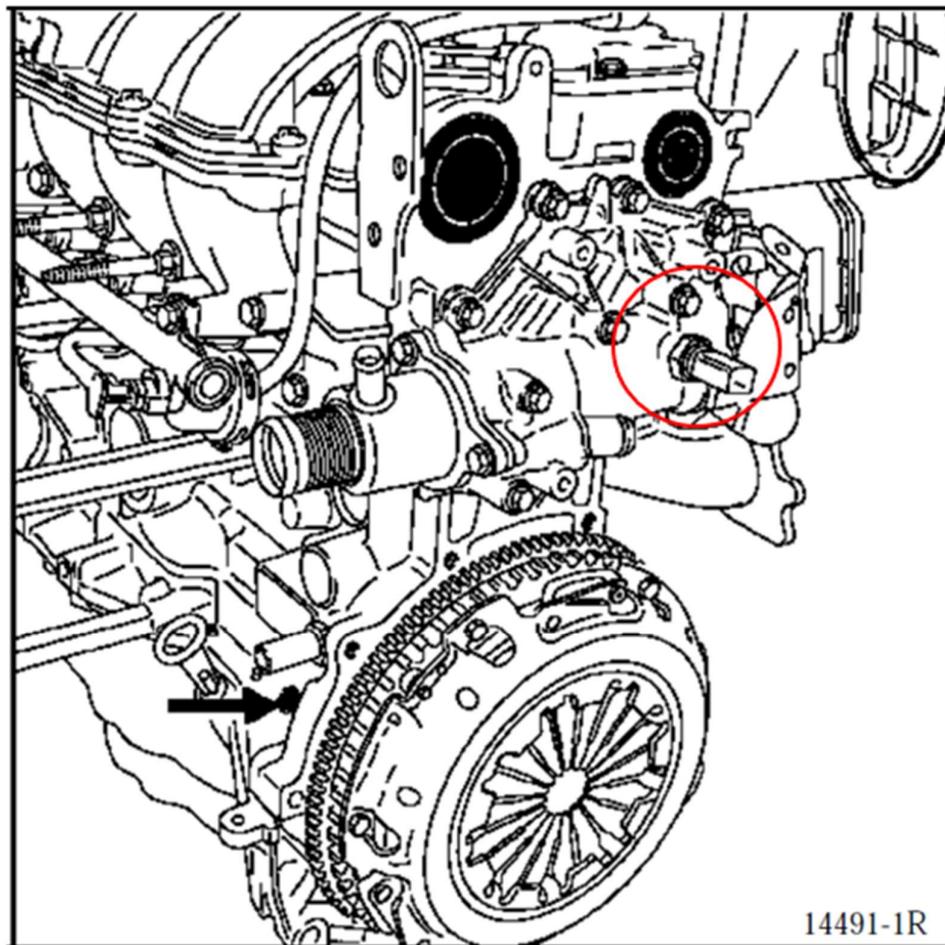
Nota. Imagen del sensor IAT en el motor. Tomado de Manual Renault Clio (1999)

Sensor CLT (temperatura del refrigerante)

Este sensor externo está compuesto por metal conductor, conductor, rosca, corona hexagonal para una llave y conector eléctrico, Su función es medir la temperatura del refrigerante del motor (o de la culata del cilindro para motores enfriados por aire). Se utiliza principalmente para suministrar combustible adicional durante el proceso de calentamiento del motor. De esta manera, monitorea continuamente el valor de la temperatura y garantiza que el motor funcione en condiciones óptimas (Ahmed, 2020).

Figura 11

Ubicación del Sensor CLT

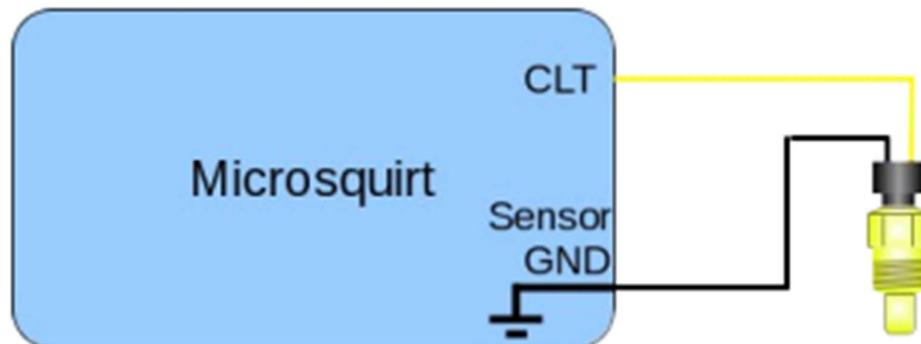


Nota. Imagen de Sensor CLT Renault Clio. Tomado de Manual Renault Clio (1999)

El sensor de temperatura del refrigerante es un termistor que opera de manera similar al sensor de temperatura del aire que, en caso de no utilizar un sensor de temperatura del refrigerante (CLT), es necesario conectar la entrada del CLT a tierra del sensor para evitar lecturas inconsistentes. Un sensor de calidad típicamente cuenta con dos cables: uno se conecta a tierra del sensor y el otro se conecta a la entrada CLT en la ECU (Megasquirt, 2015).

Figura 12

Sensor CLT



Nota. Imagen tomada de (Megasquirt, 2015)

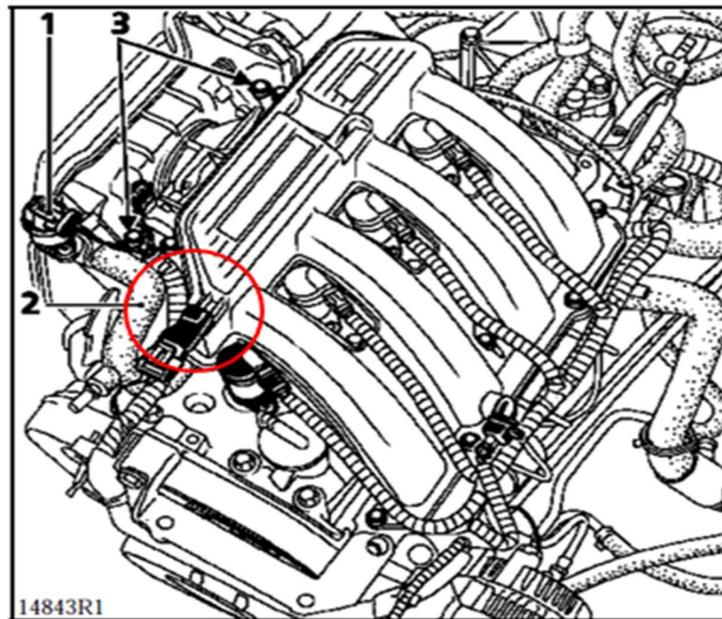
MAP (Manifold Absolute Pressure) sensor

El sensor de presión absoluta del colector (MAP) integra un chip de silicio dentro de una cámara de referencia, destacando que en un lado del chip se encuentra una presión de referencia, que puede ser un vacío perfecto o una presión calibrada, mientras que en el otro lado se mide la presión. El chip de silicio modifica su resistencia en respuesta a cambios de presión, alterando así la señal de voltaje, considerando que la ECU interpreta esta señal como la presión, y cualquier variación en el voltaje indica un cambio en la presión, directamente relacionada con la carga del motor. La ECU necesita conocer la presión en el colector de admisión para calcular la cantidad de combustible a inyectar, determinar el momento de encendido del cilindro y otras funciones. El sensor MAP se coloca

directamente en el colector de admisión o se monta en la parte superior del compartimento del motor, conectado al colector de admisión mediante una manguera de vacío. En tal sentido, es importante que la manguera de vacío no se doble para garantizar un funcionamiento óptimo. (Toyota Motor Sales, 2017).

Figura 13

Ubicación del sensor MAP



Nota. Imagen del sensor MAP Renault Clio. Tomado de Manual Renault Clio (1999)

Figura 14

SENSOR MAP



Nota. Imagen tomada de (Megasquirt, 2015)

Válvula IAC (Idle Air Control)

La válvula IAC regula la cantidad de aire que ingresa al motor cuando el acelerador está cerrado, controlando así la velocidad de ralentí, lo que permite mantener el motor funcionando de manera estable cuando este no se está acelerando.

Principio de Operación

La ECU (Unidad de Control del Motor) envía señales al motor paso a paso (o solenoide) ubicado dentro de la válvula IAC, y este ajusta la apertura de una válvula que regula el flujo de aire bypass hacia el cuerpo del acelerador. Al controlar la cantidad de aire que ingresa al motor, se regula la velocidad de ralentí para garantizar un funcionamiento suave.

Principales componentes

- Motor Paso a Paso o Solenoide: Responsable de mover la válvula.
- Válvula: Controla el flujo de aire.
- Cuerpo de la Válvula IAC: Donde se montan el motor y la válvula.

Uso de la Válvula IAC

- La válvula IAC se utiliza para gestionar las siguientes condiciones:
- Ralentí Estable: Mantener una velocidad de ralentí constante en diferentes condiciones de carga (ej. cuando el aire acondicionado está encendido).
- Arranque en Frío: Ajustar el ralentí durante el arranque en frío para compensar la menor eficiencia del motor en bajas temperaturas.
- Cambios de Carga: Compensar cambios de carga instantáneos, como cuando se enciende el sistema de aire acondicionado o se cambia de marcha en una transmisión automática.

Figura 15

Comparación de tipos de válvulas IAC

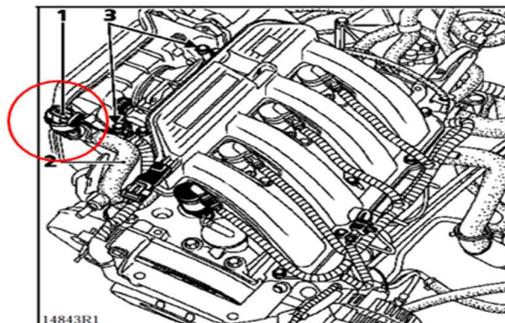
Característica	Motor Paso a Paso	Solenoide	Rotativo
Precisión	Alta	Media	Alta
Velocidad de Respuesta	Moderada	Alta	Moderada
Complejidad	Alta	Baja	Media
Durabilidad	Alta	Media	Alta
Usos Comunes	Motores modernos con inyección electrónica	Motores más antiguos	Vehículos modernos

Nota. Los tipos de válvula IAC y su comparación con respecto al motor, solenoide y rotativo.

La válvula IAC es un componente vital para el control del ralentí en los motores modernos. Su correcto funcionamiento asegura que el motor mantenga una velocidad de ralentí estable bajo diversas condiciones operativas. Conocer los diferentes tipos de válvulas IAC y cómo diagnosticar problemas comunes permitirá mantener el sistema de ralentí del vehículo en óptimas condiciones.

Figura 16

Ubicación de la válvula IAC



Nota. Imagen tomada de Válvula IAC Renault Clio (manual Renault Clio, 1999)

Metodología

Método de investigación

El presente estudio se enfoca en investigar el efecto del ajuste de la ECU MicroSquirt en un vehículo Renault Clio de competición de rally, con el propósito de optimizar su rendimiento y lograr un control avanzado del motor. Para ello, se empleará un enfoque cuantitativo, realizando pruebas empíricas y ajustando parámetros según la retroalimentación dada en las pruebas que se efectúen. Se considera que este ajuste conducirá a mejoras en la velocidad y aceleración del vehículo.

El enfoque de investigación cuantitativa se basa en mediciones numéricas y para ello utiliza la observación del proceso para recolectar datos y luego analizarlos para proceder a responder las preguntas planteadas. Se basa en análisis estadísticos obtenidos a través de la recolección y medición de parámetros, así como la obtención de frecuencias y estadígrafos de población. Se caracteriza por plantear problemas de estudio delimitados y concretos, cuyas preguntas de investigación se centran en aspectos específicos. Una vez planteado el problema de estudio, se lleva a cabo una revisión de la literatura relacionada con el tema de investigación (Ortega, 2018).

Tipo de investigación

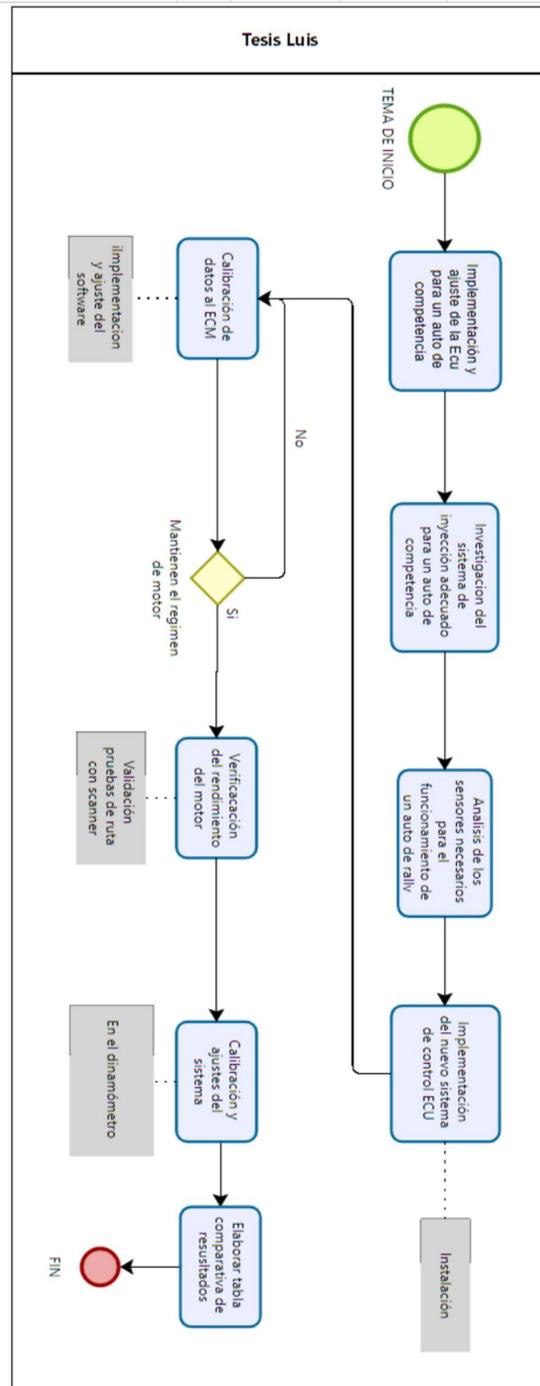
La investigación exploratoria ofrece una visión general del tema, que frecuentemente es desconocido, en la investigación que se llevará a cabo. Sus objetivos incluyen la formulación del problema de investigación, la extracción de datos y términos de importancia para generar las preguntas necesarias. Además, ayuda en la formulación de hipótesis sobre el tema a explorar, lo que brinda apoyo a la investigación descriptiva. (Morales, 2015). De igual forma, la investigación explicativa tiene como objetivo responder al interrogante "¿Por qué?", trascendiendo los enfoques exploratorio y descriptivo para identificar las causas fundamentales de un fenómeno. Por ejemplo, mientras que un estudio descriptivo puede revelar diferencias en los niveles de satisfacción laboral entre distintos grupos de

empleados, la investigación explicativa se enfocaría en comprender las razones subyacentes que explican esas diferencias.

En base a lo expuesto, el tipo de investigación exploratorio sería apropiado en este caso porque se busca investigar un tema relativamente nuevo y poco estudiado, como es el efecto del ajuste de la ECU MicroSquirt en un vehículo Renault Clio de competición de rally. Al ser un campo nuevo, es necesario explorar y comprender mejor cómo este ajuste puede influir en el rendimiento del motor y en las variables mencionadas, como velocidad, aceleración y eficiencia del combustible. Por otro lado, el enfoque explicativo también sería relevante, ya que busca explicar la relación causal entre el ajuste de la ECU y las mejoras en el rendimiento del vehículo. Este enfoque permitirá identificar los mecanismos precisos a través de los cuales ocurren estas mejoras, proporcionando una comprensión más detallada de los efectos del ajuste de la ECU en el Renault Clio de competición de rally.

Figura 17

Diagrama de Flujo



Nota. Secuencia de procesos que describe el procedimiento para actualizar el sistema de inyección en el auto de competencia Renault Clio

Diagrama de Flujo

En base a la figura 17, el diagrama de flujo en mención presenta una secuencia de procesos que describe el procedimiento para actualizar el sistema de inyección en el auto de competencia Renault Clio. Cabe destacar que el proceso inicia con la selección del sistema de inyección más adecuado para el vehículo en mención. Una vez seleccionado, se procede a desmontar el equipo original, en esta etapa si se determina que es necesario retirar todo el sistema original, se realiza este paso por completo. Si no es necesario retirar todo el sistema, se identifican los componentes que se mantendrán y se procede con la implementación del nuevo sistema de control. Luego, se lleva a cabo la calibración de datos en la ECU, ajustando el software de acuerdo con el modelo y el cilindraje del auto. Cabe mencionar que, si se mantiene el régimen del motor, se verifica el rendimiento del motor mediante pruebas en el dinamómetro y se realizan ajustes adicionales si es necesario. En caso de que el motor no se comporte como se espera, se repite el proceso de calibración de datos en la ECU. Una vez completada la verificación del rendimiento del motor y pasadas las pruebas en el dinamómetro, se realiza una tabla comparativa de resultados. Si el auto pasa las pruebas sin problemas, se procede con la tabla comparativa; de lo contrario, se vuelve a verificar el rendimiento del motor para identificar y resolver cualquier problema.

Método

En las competiciones automovilísticas, la maximización del rendimiento del vehículo se lleva a cabo a través del sistema de gestión del motor, el cual se encarga de regular aspectos como la inyección de combustible, el encendido y otros parámetros que influyen en la potencia del motor. La implementación de una Unidad de Control Electrónico (ECU) programable ofrece una solución avanzada para llevar a cabo la optimización del rendimiento del motor. Por ello, este capítulo describe la implementación y ajuste de la ECU programable Microsquirt en un Renault Clio de competición de Rally, con el objetivo de maximizar el rendimiento y proporcionar un control avanzado del motor.

Al respecto, la ECU programable Microsquirt es una alternativa entre los especialistas de autos de competición debido a su flexibilidad, precisión y capacidad para adaptarse a una amplia gama de configuraciones de motores. A diferencia de las ECUs originales de fábrica, que están preprogramadas y limitadas en su capacidad de ajuste, la Microsquirt permite una personalización completa de los mapas de inyección y encendido, lo que permite adaptaciones precisas a las condiciones específicas de carrera y a las características particulares del motor. Bajo esta premisa, el Renault Clio de competición de Rally presenta una excelente oportunidad para explorar el potencial de la Microsquirt, ya que este vehículo, conocido por su agilidad y manejo preciso, requiere una gestión del motor que no solo maximice la potencia, sino que también garantice una entrega de torque suave y controlada, esencial para mantener la tracción y la estabilidad en las diversas condiciones de carrera típicas del rally.

El proceso de implementación de la ECU programable comienza con una evaluación detallada del motor y de sus componentes, incluyendo la identificación de sensores y componentes críticos que deben ser integrados con la Microsquirt. En el Renault Clio, esto abarca desde sensores de posición del acelerador y del cigüeñal hasta sensores de

temperatura y presión de admisión en los que cada uno de estos componentes deben ser calibrados para garantizar una comunicación precisa con la ECU.

Una vez realizada la instalación física de la Microsquirt, el siguiente paso es el desarrollo y ajuste de los mapas de inyección y encendido. Este proceso requiere de pruebas detalladas tanto en dinamómetros como en condiciones reales de carrera, considerando que el objetivo es encontrar el equilibrio óptimo entre potencia y eficiencia, ajustando parámetros como el avance del encendido, la cantidad de combustible inyectado y los tiempos de apertura de los inyectores. Estos ajustes permiten que el motor del Renault Clio opere en su máxima capacidad, aprovechando cada oportunidad de ganar rendimiento sin comprometer la durabilidad del motor. La implementación de la Microsquirt también implica el uso de software especializado para la programación y monitoreo de la ECU. En tal sentido, herramientas como TunerStudio permiten la visualización en tiempo real de los datos del motor, facilitando el ajuste de los parámetros en función del comportamiento observado. Este nivel de control y precisión es esencial para ajustar el motor de manera que responda de forma óptima a las exigencias del rally, que incluyen variaciones bruscas de velocidad y cambios de terreno.

En síntesis, la implementación y ajuste de la ECU programable Microsquirt en un Renault Clio representa una intervención técnica avanzada con el potencial de transformar el rendimiento del vehículo. A través de un proceso detallado de instalación, calibración y ajuste, es posible desbloquear nuevas capacidades del motor, proporcionando a los pilotos una herramienta para competir al más alto nivel. En este apartado se detalla cada paso de este proceso, ofreciendo una guía comprensiva para ingenieros y especialistas de autos de competición que buscan maximizar el rendimiento de sus vehículos a través de tecnologías avanzadas de gestión del motor.

Fundamentos para la selección de la ECU programable MicroSquirt

Las ECUs programables permiten la optimización del rendimiento del motor según las condiciones específicas de cada carrera, adaptabilidad que las convierte en una ventaja competitiva para diferentes tipos de competición. En el mercado existen gran variedad de ECUs programables, pero específicamente la MicroSquirt es una ECU completamente ensamblada de nivel de entrada con aplicaciones variadas que se enfocan en deportes motorizados desde motores de un solo cilindro hasta motores de 8 cilindros, con 2 salidas de combustible y 4 de chispa. Cabe mencionar que, se aceptan más de 40 modos de encendido diferentes, que van desde aplicaciones convencionales como GM LS1, Ford Zetec, Bosch Motronic y Chrysler Gen III Hemis, hasta modos inusuales como Renix Jeep y Suzuki Swift GTI (MARS, 2023).

Características del hardware de la ECU MicroSquirt

- 2 salidas de inyector de alta impedancia: corriente máxima de 4,5 amperios, a cada salida de inyectores, etiquetadas como "Injector 1" y "Injector 2" la utilizaremos para la conexión al grupo A (inyectores 1 y 2) a la salida "Injector 1" de la ECU y la conexión al grupo B (inyectores 3 y 4) a la salida "Injector 2" de la ECU.
- 2 salidas de chispa dedicadas
- 2 salidas de encendido/apagado de propósito general: se pueden reutilizar como salidas de chispa
- 1 salida PWM IAC: se puede reutilizar como salida de propósito general
- 1 salida de bomba de combustible dedicada
- 2 entradas condicionadas de reluctor variable
- 1 entrada RPM opto-aislada
- 1 entrada conmutada de uso general o combustible flexible

- 7 entradas analógicas

Características del software de la ECU MicroSquirt

- Admite tablas de chispas y combustible basadas en densidad de velocidad, MAP, alfa-N (basado en TPS) o MAF,
- El ancho de pulso del inyector tiene una resolución de 0,66 microsegundos.
- Posibilita la combinación de diversos tipos de carga, incluyendo un modo especializado para cuerpos de aceleración independientes.
- Admite una amplia variedad de sensores de posición de cigüeñal y leva OEM
- Bomba de acelerador o enriquecimiento de aceleración basado en modelo
- Velocidad de ralentí de bucle cerrado o abierto y control de impulso
- Control nitroso de encendido/apagado
- Soporte rotativo Wankel: motores de 2 rotores con mesas de chispas delanteras y traseras separadas
- inyección por etapas
- Cambio de tabla de programación
- Tabla de combustible 16 x 16
- Tabla de chispas 12 x 12
- Limitador de revoluciones de 2 pasos (control de lanzamiento) con cambio sin elevación
- Tabla de objetivos AFR de banda ancha
- Entrada del sensor de combustible flexible

- La corrección barométrica en tiempo real está disponible, pero se necesita de un sensor externo.
- Corte de cambio secuencial y control de cambio de aire

Herramientas básicas para la instalación de la ECU MicroSquirt

Figura 18

MicroSquirt ECU



Nota. Imagen de la MicroSquirt ECU

- Luz de sincronización estroboscópica
- Multímetro (voltios, ohmios)
- Destornilladores
- Cortadores de alambre
- Terminales eléctricos, sockets para los diferentes sensores
- Cautín soldador y soldadura de estaño
- Tubo o mangueras termo fundente
- Extintor de incendios

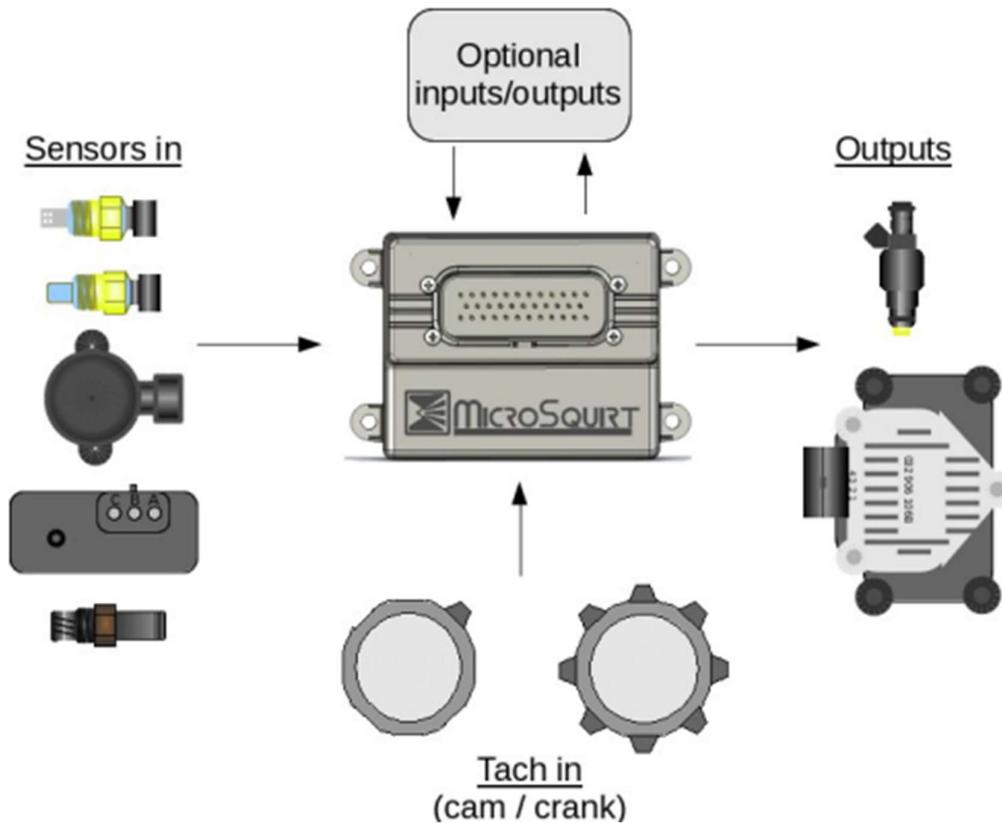
- Osciloscopio
- Luz de prueba
- Cinta aislante
- Manguera corrugada
- Correas de sujeción (amarras plásticas)

Hardware del Sistema MicroSquirt

Para proceder con la instalación de la ECU MicroSquirt, cabe considerar que este componente recibe señales de los distintos sensores de entrada y luego controla las salidas de combustible y chispa para hacer funcionar el motor, así como se observa en la figura 19.

Figura 19

Diagrama de Instalación de la ECU MicroSquirt



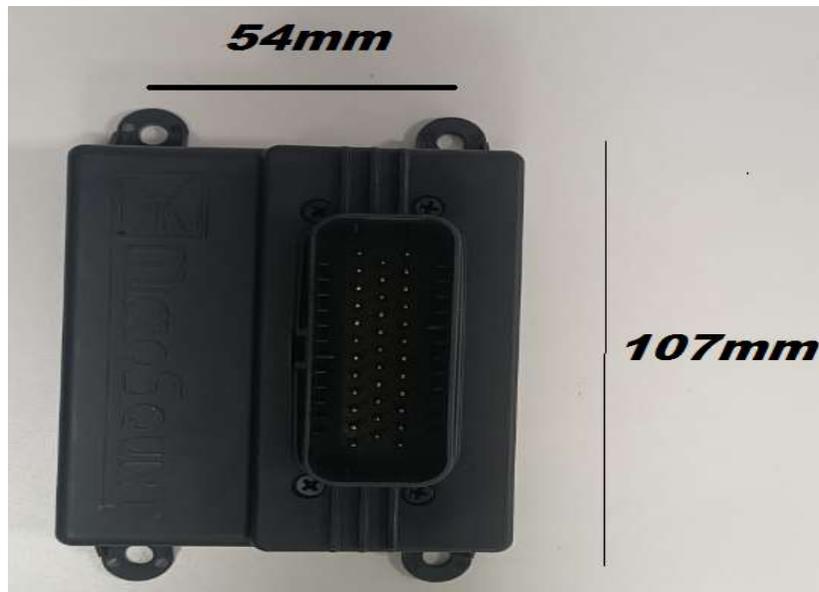
Nota. Pasos a seguir para la instalación de la MicroSquirt

En el caso del motor del Renault Clio como ya tiene instalada la inyección de combustible, se puede reutilizar muchos de los sensores y hardware de salidas existentes. Al respecto, la ECU Microsquirt está diseñada para ser resistente a vibraciones y utiliza componentes electrónicos de grado automotriz y que debe ser instalada en el interior del compartimiento, debajo del tablero de instrumentos lejos de la temperatura directa del motor dado que no está diseñada para ser instalada en el exterior, considerando que la temperatura no debe exceder los 185°F (85°C).

Con respecto a los orificios de montaje las dimensiones estipuladas son 4,20" por 2,14" (107 x 54 mm), cuyos diámetros corresponden a 0,20" (5 mm) tal como se aprecia en la figura 20.

Figura 20

Distancia de orificios de sujeción de la ECU MicroSquirt



Nota. Distancia de orificios recomendados para asegurar la ECU.

Asimismo, la ECU programable MicroSquirt , trae un arnés de "pigtail" de 2.4 m para la instalación del sistema de inyección como vemos en la figura 21.

Figura 21

Arnés de instalación



Nota. Arnés para la instalación de la MicroSquirt.

Entradas de sensores y Salidas a Actuadores

Los sensores suministran a la ECU la información necesaria sobre las condiciones actuales de funcionamiento del motor, la cual se utiliza para calcular la producción de combustible y la chispa. Las entradas principales son el sensor CKP, MAP, el sensor ECT, el sensor TPS y IAT; mientras que las salidas, son a los actuadores, señal de inyectores, señal a las bobinas y a la válvula IAC, los cuales son identificados en apartados posteriores.

Selección de cables y conectores

Para asegurar un proceso de instalación exitoso en un vehículo de rally, es importante evitar el uso de conectores y cableado antiguos. Por ello, se debe prestar atención a la selección de cables y componentes con una temperatura nominal adecuada, ya que los

motores de competición alcanzan altas temperaturas. El uso de cables con aislamiento de calidad inferior puede resultar en derretimiento o degradación del material, provocando conexiones inestables o cortocircuitos. Todos los componentes eléctricos deben tener una clasificación mínima de 105 °C (220 °F). Por lo tanto, se debe reemplazar el arnés antiguo con el nuevo arnés proporcionado con la ECU MicroSquirt. Este arnés está diseñado para soportar las exigencias del entorno de competición y garantiza un rendimiento fiable tras la instalación.

Figura 22

Cable de interfaz



Nota. Cable de interfaz que va de la MicroSquirt al computador.

La ECU programable Microsquirt utiliza una interfaz RS232 para sintonizar, el mismo que viene como un conector jack de 2,5 mm en el mazo de cables y utiliza un cable adaptador a un conector serie DB9 estándar tal como se aprecia en la figura 22

Protección eléctrica con fusibles

El sistema debe incluir fusibles para las bobinas, los inyectores, la bomba de combustible y, especialmente, la ECU programable por ello, los fusibles recomendados son de 20 amperios para las bobinas, 15 amperios para los inyectores y 5 amperios para la ECU programable MicroSquirt. Estos fusibles protegen los componentes, ya que la batería de un

automóvil puede suministrar cientos de amperios en caso de cortocircuito, lo que podría derretir los cables fácilmente o provocar un incendio. Para minimizar este riesgo y evitar daños a los componentes, es importante utilizar fusibles adecuados. Además, dado que existe la posibilidad de que las conexiones se humedezcan, se recomienda aplicar vaselina a las conexiones para prevenir la corrosión.

Armado y confección del arnés

Durante el armado del mazo de cables, primero se pasaron todos los cables antes de unir los extremos., limpiándose los tramos de cables y se fijándose en su lugar. Una vez determinadas las longitudes y asegurados todos los componentes, se ensamblaron o unieron los extremos. El trabajo con el cableado se realizó en una dirección, comenzando desde el interior del habitáculo, es decir, desde la ubicación de la ECU hacia los accesorios en el exterior del habitáculo del motor.

Enrutamiento de alimentación de Relés y Accesorios

Todos los relés, solenoides, lámparas y la bomba de combustible operados por el MicroSquirt se conectaron al mismo punto eléctrico que la ECU, utilizando fusibles separados. Esto garantiza que solo se energicen cuando la ECU esté activada, es decir, cuando el motor esté en marcha; cabe mencionar que un cableado incorrecto de los accesorios puede hacer que la energía regrese al MicroSquirt y provoque comportamientos inesperados, como un cortocircuito en la ECU.

Esquemas de puesta a tierra

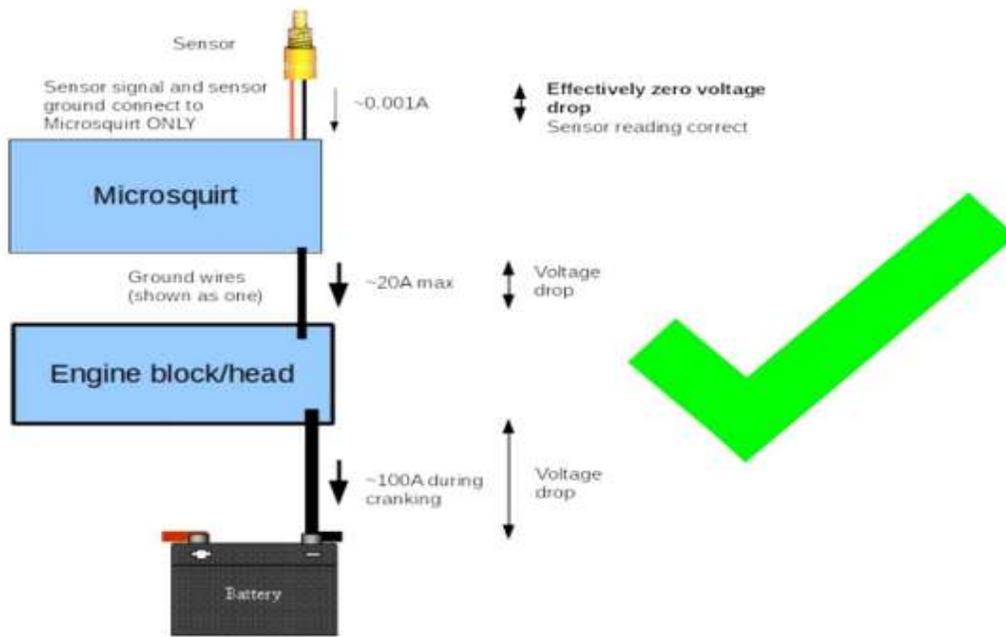
Para asegurar una instalación exitosa de MicroSquirt, se debe implementar un esquema de conexión a tierra adecuado ya que conectar sensores a una tierra incorrecta o utilizar puntos de tierra corroídos puede causar problemas en el funcionamiento de la ECU programable MicroSquirt. Existen dos reglas que se deben considerar:

- Todos los sensores deben conectarse a los cables de tierra de la ECU programable.
- La ECU programable MicroSquirt debe estar conectada a tierra en el bloque del motor y la carrocería utilizando ambos cables de tierra disponibles.

Cuando la corriente fluye a través de un cable, siempre hay una caída de voltaje, y esta caída aumenta con la corriente según la ley de Ohm. Durante el arranque, una corriente muy grande fluye desde la batería hasta el motor a través del cable de tierra, lo que puede provocar una caída de voltaje significativa; incluso durante el funcionamiento normal, hay una cantidad de amperios que fluyen desde las masas del MicroSquirt hasta el motor. Por ello, los sensores, como los de temperatura del refrigerante, del aire, la posición del acelerador, la banda ancha y la entrada del tacómetro, utilizan señales de baja corriente y voltaje. La ECU programable MicroSquirt convierte el voltaje del sensor en lecturas de temperatura, posición, etc; sin embargo, si un sensor está conectado a tierra en otro lugar que no sea las salidas de tierra designadas de la ECU programable MicroSquirt, el voltaje de entrada puede verse afectado por cualquier caída de voltaje externo. Esto puede convertirse en un problema para mediciones sensibles como la relación aire/combustible (λ). Por lo tanto, todos los buenos controladores de banda ancha proporcionan una tierra de alta corriente (que se conecta al motor) y una tierra de sensor/señal (que se conecta a la ECU programable MicroSquirt).

Figura 23

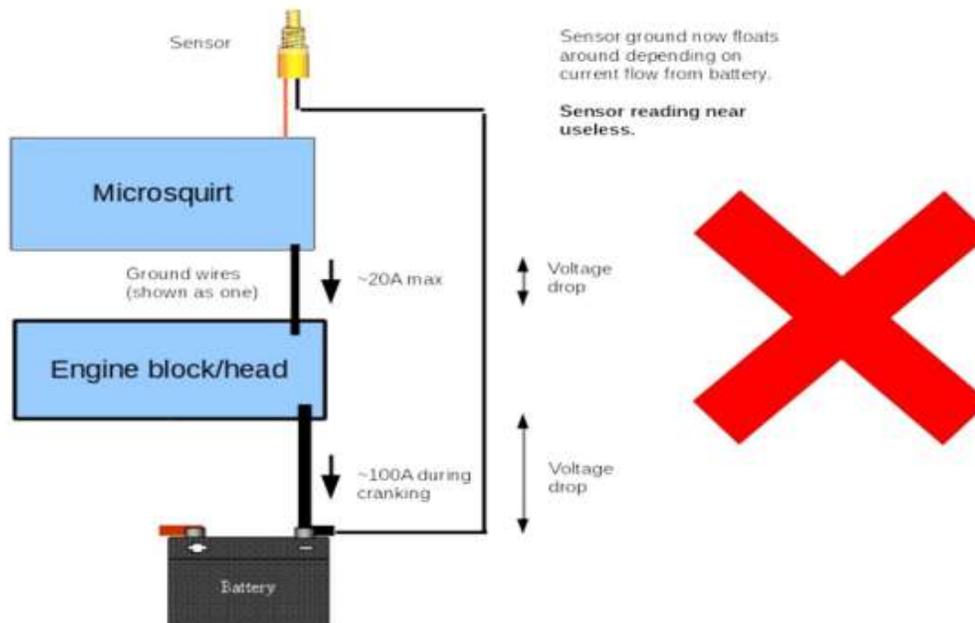
Diagrama correcto de instalación de tierra



Nota. Indicaciones generales para un correcto de instalación de tierra

Figura 24

Diagrama incorrecto de instalación de tierra

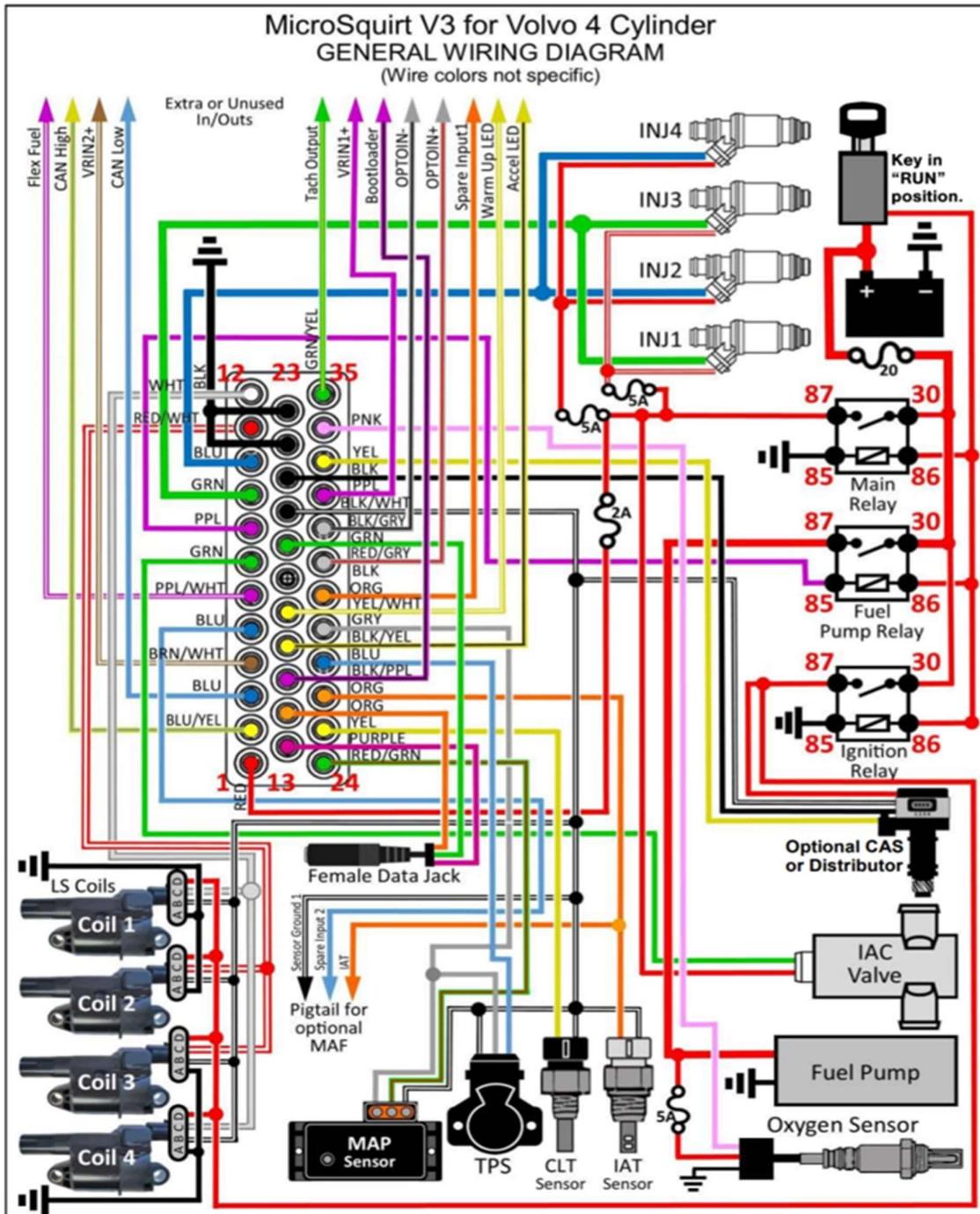


Nota. Indicaciones generales que denotan una mala instalación de tierra.

Diagrama del cableado de conexión de la ECU programable MicroSquirt

Figura 25

Diagrama de instalación de ECU MicroSquirt



Nota. Diagrama de cableado general de la MicroSquirt.

Figura 26*Pinado de ECU MicroSquirt*

Pin #	Name	Color	In/Out	Function	Max current
1	+12V in	Red	in	Main power feed	< 1 ^a
2	CANH	Blue / Yellow	Comms	CAN communications	-
3	CANL	Blue / Red	Comms	CAN communications	-
4	VR2+	VR2	in	'Cam' tach in	-
5	SPAREADC2 (MAF)	Pink / Black	in	Spare analogue input	-
6	FLEX	Purple / white	in	Flex / spare input	-
7	FIDLE	Green	Out	Idle valve output	3 ^a
8	FP (pump)	Purple	Out	Fuel pump relay output	3 ^a
9	INJ 1	Thick Green	Out	Injector bank 1 output	5 ^a
10	INJ 2	Tinck Blue	Out	Injector bank 2 output	5 ^a
11	SPK B (ING 2)	Thick White/Red	Out	Spark B logic output	0.02 ^a
12	SPK A (ING 1)	Thick White	Out	Spark A logic output	0.02 ^a
13	RX	-	Comms	RS232 communications	-
14	TX	-	Comms	RS232 communications	-
15	BOOT LOAD	Purple / Black	in	Bootloader enable input	-
16	ALED	Yellow / Black	Out	Spare relay output	3 ^a
17	WLED	Yellow / White	Out	Spare relay output	3 ^a
18	Sensor Ground	-	GND	Not installed	-
19	Serial Ground	-	GND	Serial Ground	-
20	Sensor Ground	White / Black	GND	Sensor Ground	-
21	VR2-	VR2	in	'Cam' tach in	-
22	POWER GROUND	Thick Black	GND	POWER GROUND	-
23	POWER GROUND	Thick Black	GND	POWER GROUND	-
24	MAP	Green / Red	in	MAP sensor input	-
25	CLT / CTS	Gray / Red	in	CLT sensor input	-
26	IAT / MAT	Gray / Black	in	MAT sensor input	-
27	TPS	Blue	in	TP Sensor input	-
28	TPS VREF (5V)	Grey	Out	5V supply for TPS	0.1 ^a
29	SPAREADC	Orange / Green	in	Spare analogue input	-
30	OPTO+	Gray / Red	in	Coil negative tach in	-
31	OPTO-	Gray / Black	in	Coil negative tach in	-
32	VR1+	VR1	in	'Crank' tach in	-
33	VR1-	VR1	in	'Crank' tach in	-
34	O2	Pink	in	Oxygen/lambda sensor in	-
35	TACHO	Green / Yellow	Out	Tacho / rev counter out	0.3 ^a

Nota. Indicaciones de pinado de entrada y salida con su respectivo color.

Entradas de sensores

Figura 27

Sensor CKP



Nota. Instalación efectuada de Sensor CKP.

Las entradas del sensor CKP son los terminales 32 y terminal 33, cabe mencionar que este sensor es el encargado de dar lectura al giro del motor.

Figura 28

Sensor MAP

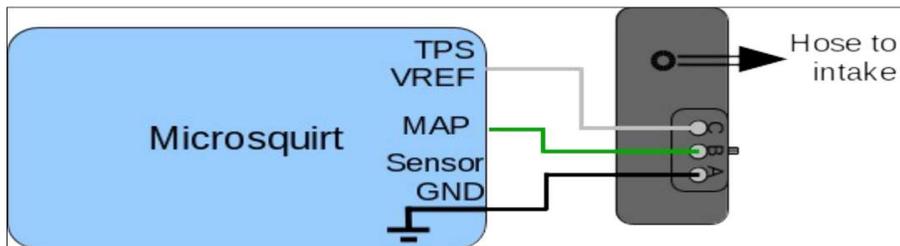


Nota. Instalación efectuada de Sensor MAP.

Este sensor mide la presión del aire en una escala absoluta donde cero es un vacío completo y la presión ambiental al nivel del mar es de alrededor de 101 kPa. Este sensor constituye la entrada principal para el algoritmo de combustible "Velocidad-Densidad".

Figura 29

Diagrama del sensor MAP

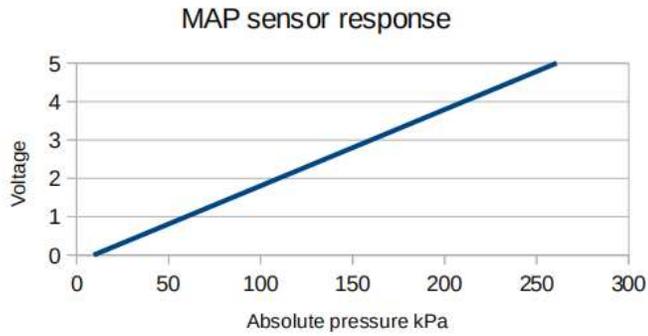


Nota. Diagrama del sensor MAP

El sensor MAP cuenta con tres cables: alimentación de 5 V en el terminal 28 (TPSVREF), tierra en el terminal 20 (retorno a tierra del sensor) y señal en el terminal 24. Este sensor envía una señal de 0 a 5 V al MicroSquirt mientras que el tubo de presión (hose to intake) se conecta a una fuente de vacío total en el colector de admisión y al seleccionar un puerto de vacío existente en el cuerpo del acelerador, es importante asegurarse de elegir uno que proporcione vacío total cuando el acelerador esté cerrado, evitando así una fuente de vacío con puerto que se conectaría a un distribuidor. Los sensores GM están diseñados para instalarse en el motor mientras que los sensores estilo Northstar y LS1 se conectan directamente en la parte superior de la entrada de plástico.

Figura 30

Respuesta del sensor MAP



Nota. Respuesta del sensor MAP con respecto al voltaje

El sensor IAT/MAT (temperatura del aire de admisión/colector) es un sensor externo que mide la temperatura del aire que entra en el motor y que se utiliza para calcular la densidad del aire, siendo un factor clave en el cálculo del combustible de velocidad-densidad.

Figura 31

Sensor IAT

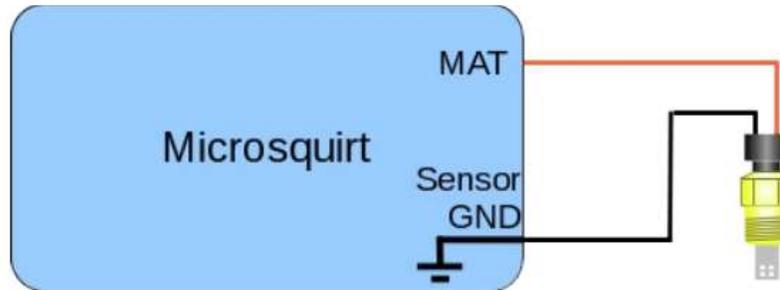


Nota. Sensor IAT en motor.

El sensor de temperatura es una resistencia variable, específicamente un termistor del tipo NTC. Su resistencia disminuye a medida que aumenta la temperatura, pero su respuesta no es lineal.

Figura 32

Diagrama del sensor IAT o MAT

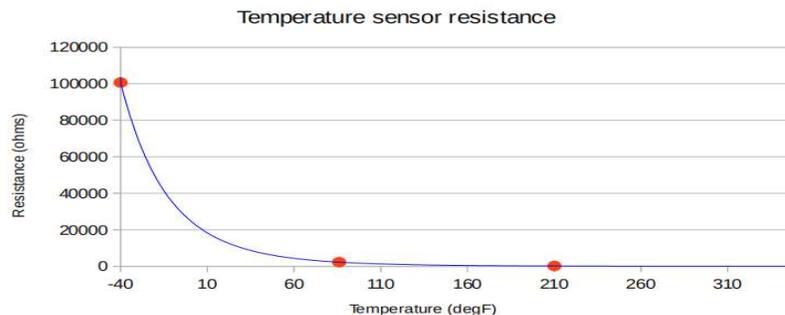


Nota. Diagrama de instalación del sensor IAT o MAT

Cabe mencionar que, cualquier instalación que no utilice un MAT (PIN 26) debe conectar la entrada del MAT a tierra del sensor para evitar que la lectura "flote". Asimismo, un sensor en buen estado tendrá dos cables, un cable que se conecta a tierra del sensor (PIN 20) y el otro a la entrada MAT (PIN 26) de la ECU. Existen dos tipos de sensores: el de tipo elemento abierto y el de tipo elemento cerrado. El sensor de elemento abierto tiene un termistor expuesto directamente a la corriente de aire, donde la temperatura del aire puede variar rápidamente. Por otro lado, el sensor de elemento cerrado es similar a un sensor de temperatura del refrigerante, con un termistor encapsulado, no obstante, su respuesta es demasiado lenta para ser eficaz en aplicaciones turboalimentadas.

Figura 33

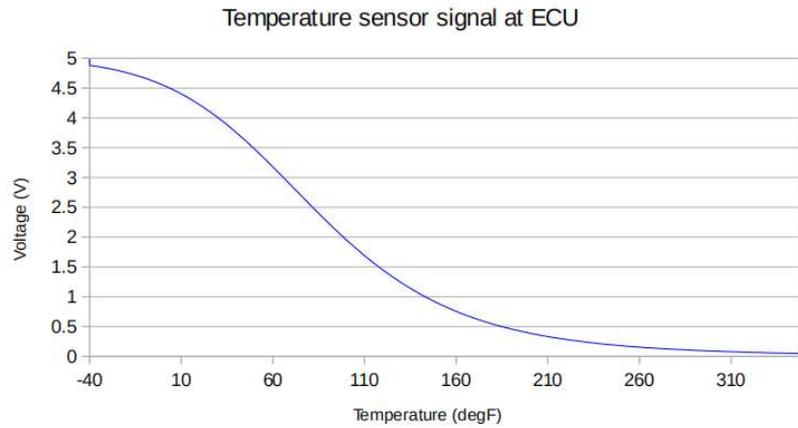
Respuesta del sensor IAT



Nota. Respuesta del sensor IAT en cuanto a resistencia y temperatura

Figura 34

Señal que recibe la ECU



Nota. Señal de temperatura con respecto al voltaje

El sensor CLT (temperatura del refrigerante) mide la temperatura del refrigerante y se emplea principalmente para dos propósitos: suministrar combustible adicional durante el calentamiento del motor y facilitar los arranques en frío.

Figura 35

Sensor CLT o CTS

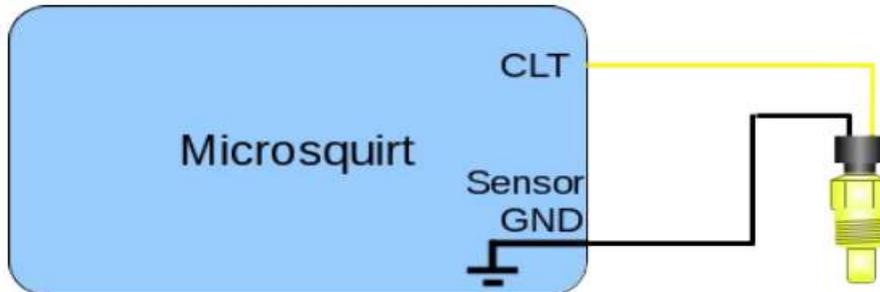


Nota. Sensor CLT o CTS en motor

La temperatura del refrigerante se detecta mediante un termistor y opera de manera similar al sensor de temperatura del aire, como se ilustra en la siguiente figura:

Figura 36

Diagrama del sensor CLT



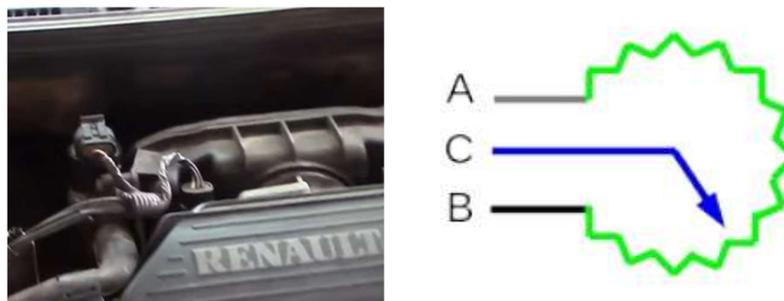
Nota. Diagrama de instalación de sensor CLT

Cualquier instalación que no utilice un CLT debe conectar la entrada del CLT (pin25) a tierra pin (31) del sensor para evitar que la lectura "flote". Un sensor de calidad contará con dos cables: uno se conecta a tierra del sensor (pin20) y el otro a la entrada CLT (pin25) en la ECU.

Con respecto al sensor TPS (Sensor de posición del acelerador), este se encarga de medir la posición de la placa del acelerador. Es una resistencia variable (potenciómetro) y envía una señal de 0-5 V al Microsquirt.

Figura 37

Sensor TPS

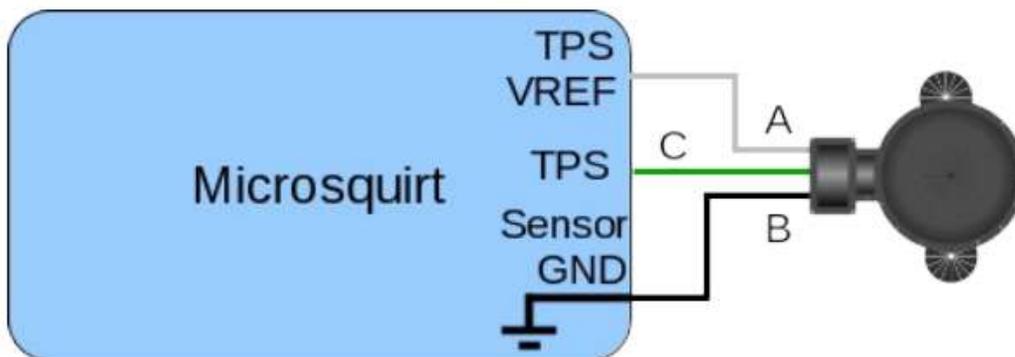


Nota. Sensor TPS en motor

El sensor tiene tres cables, alimentación de 5 V (pin28) (TPSVREF), tierra (pin20) (retorno a tierra del sensor) y seña (pin 27). El Microsquirt convierte la seña a una escala del 0 al 100% utilizando sus números de calibración, en esta escala, el 0% representa completamente cerrado mientras que el 100% representa completamente abierto, como se muestra en la figura siguiente:

Figura 38

Diagrama del sensor TPS



Nota. Diagrama de instalación Sensor TPS

Salidas de la ECU programable MicroSquirt

El Microsquirt tiene dos salidas de inyector, los cuales pueden suministrar hasta 5A como máximo cada uno. Normalmente, esto permite cuatro inyectores de alta z (14 ohmios) por canal, asimismo las salidas de la ECU programable MicroSquirt, son para los inyectores y las bobinas, bomba de combustible y al tacómetro de revoluciones del motor.

Inyectores

Figura 39

Inyectores



Nota. Inyectores en motor.

Salidas de bobina de encendido

Para este proyecto se utilizó un sistema de encendido DIS de chispa perdida, adaptando una bobina de 4 cables de un solo cuerpo ya que es más confiable que las bobinas originales tal como se aprecia en la siguiente figura:

Figura 40

Sistema de encendido DIS de chispa perdida.

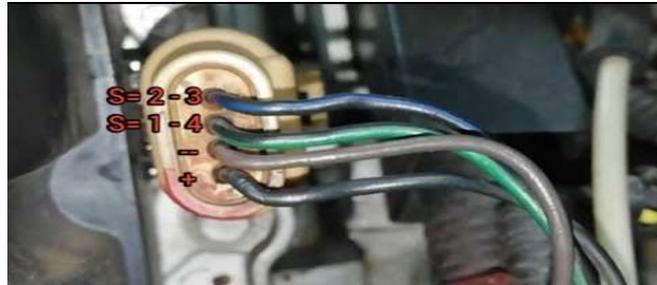


Nota. DIS chispa perdida

El Microsquirt proporciona de serie dos canales de encendido lógicos IGNOUT1 (pin 12) (SPKA) e IGNOUT2 (pin11) (SPKB). Opcionalmente, las salidas WLED y ALED se pueden reutilizar para dar un total de cuatro canales de salida.

Figura 41

Conexión de bobinas 4 cables



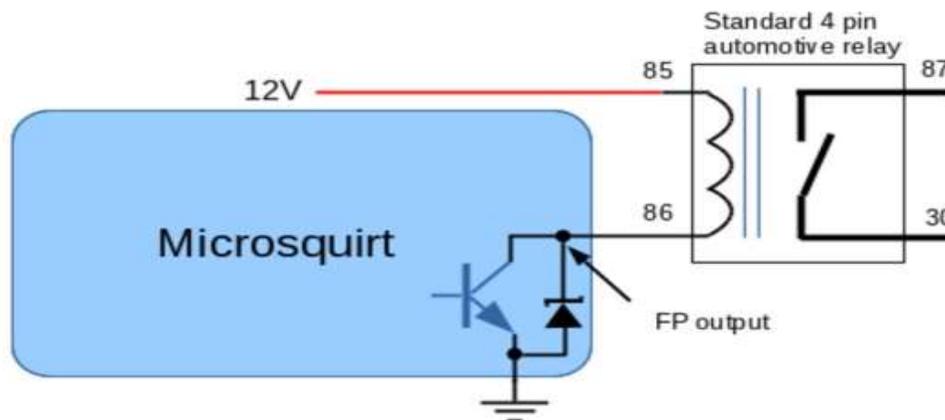
Nota. Identificación de cables para conexión de bobina

De igual forma, se conectó el pin 12 a S-1-4 y pin 11 al S-2-3, tierra al 31 y positivo de la salida del relé (Ignition Relay) pin 87 protegido con un fusible de 20A

Salida de la bomba de combustible

Figura 42

Diagrama de bomba de combustible



Nota. Diagrama de instalación de bomba de combustible a microsquirt.

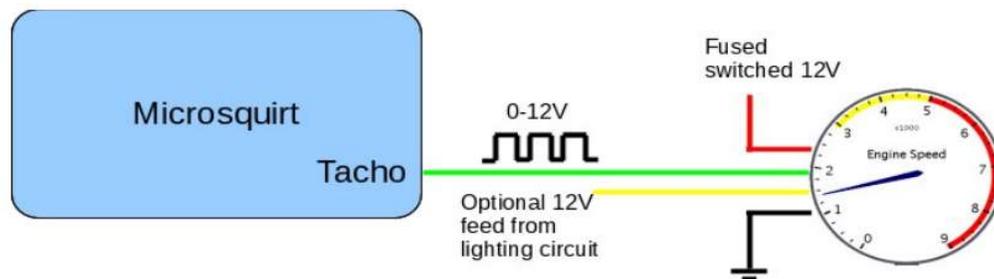
Al terminal 86 del relé se conecta la salida del pin 8 de la ECU programable MicroSquirt.

Salida de tacómetro

La salida del tacómetro normalmente proporciona una señal pulsada de 0 a 12 V que es adecuada para controlar un tacómetro (cuentarrevoluciones) no original, lo que debe habilitarse en el software, específicamente en el pin 35 cable de color verde amarillo.

Figura 43

Diagrama de tacómetro



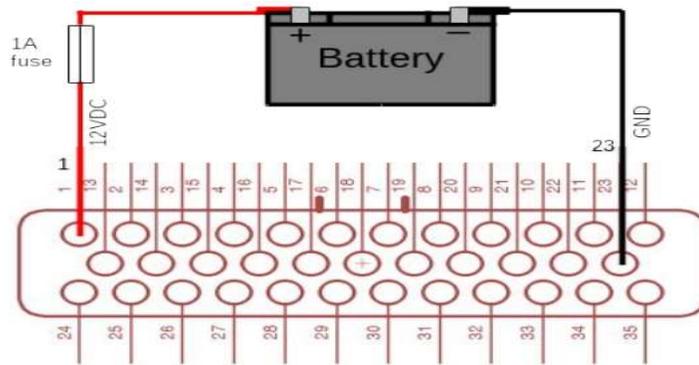
Nota. Diagrama de instalación de tacómetro a microsquirt.

Proceso de activación de la ECU programable MicroSquirt

La ECU programable MicroSquirt para poder encenderse debe energizarse tal como se aprecia en la figura 44:

Figura 44

ECU Energizada



Nota. Pinado de la microsquirt con la batería del vehículo.

En el Pin 1, se suministra energía con +12 voltios a través de un fusible de 5 A que proviene del portafusibles, activado cuando se conecta el switch master. La tierra ingresa a través del Pin 23, conectado directamente al borde negativo de la batería

Programación de la ECU Programable MicroSquirt

La configuración y calibración de la ECU programable MicroSquirt permite que el auto encienda y funcione de manera correcta, destacándose por su versatilidad y capacidad de adaptación a una amplia gama de aplicaciones que van desde motores de cuatro cilindros hasta configuraciones más complejas. Cabe mencionar que antes de su configuración se procedió a realizar la instalación física de la ECU y la conexión de sus diversos sensores y componentes al motor, cuyo proceso requiere gran capacidad técnica y entendimiento sobre el sistema de combustible y encendido del vehículo, ya que la ECU debe recibir datos precisos para controlar estos parámetros de manera eficiente.

La calibración, por otro lado, es un proceso más sofisticado que involucra ajustar la ECU para que funcione de acuerdo con las especificaciones y condiciones específicas del motor. En este contexto, por medio del software especializado TUNNERSTUDIO, se procedió a ajustar los mapas de combustible y de encendido, asegurando una mezcla aire-combustible óptima y un avance de encendido adecuado para maximizar el rendimiento y la eficiencia del motor. Este proceso también incluye pruebas dinámicas en un dinamómetro y

ajustes finos en pista para lograr un equilibrio perfecto entre potencia, fiabilidad y respuesta del motor.

Apertura del programa3

Para llevar a cabo el proceso de configuración y calibración de la MicroSquirt se procede a inicializar el programa TUNNERSTUDIO, cuya interfaz permitirá programar la ECU.

Figura 45

Pantalla de Inicio de Tunner Studio

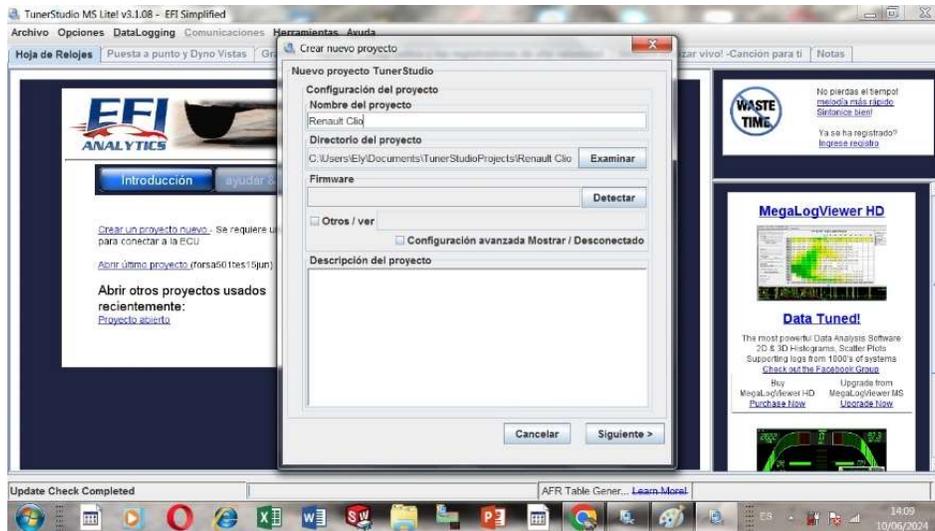


Nota. Imagen tomada del software Tunner Studio

Una vez cargado el programado, se procede a crear un nuevo proyecto que, para el caso de estudio, se procederá a llamar Reault Clio tal como se aprecia en la siguiente figura

Figura 46

Creación del proyecto en Tunner Studio



Nota. Imagen tomada para crear un proyecto en Tuner Studio

Una vez que se ha creado el proyecto, se procede a abrir la configuración básica donde se ingresan datos del motor

Figura 47

Opción para ingreso de datos de motor

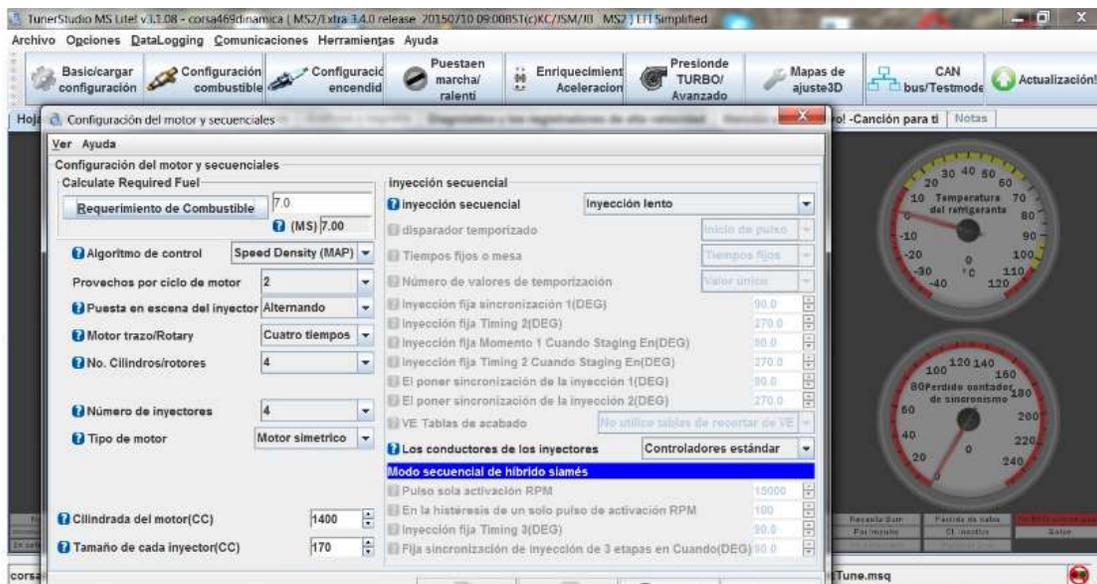


Nota. Imagen tomada para ingreso de datos en Tuner Studio

Estando en la pantalla de configuración del motor y secuenciales se proceden a ingresar valores tales como el requerimiento de combustible y el algoritmo por el cual calculará la ECU la cantidad de combustible (Speed DensityMAP) así como el tipo de motor de 4 tiempos, 4 cilindros. motor simétrico y en la que también se le establece una cilindrada 1400cc y un tamaño de inyector 170cc tal como se aprecia en la siguiente figura:

Figura 48

Ingreso de datos de motor

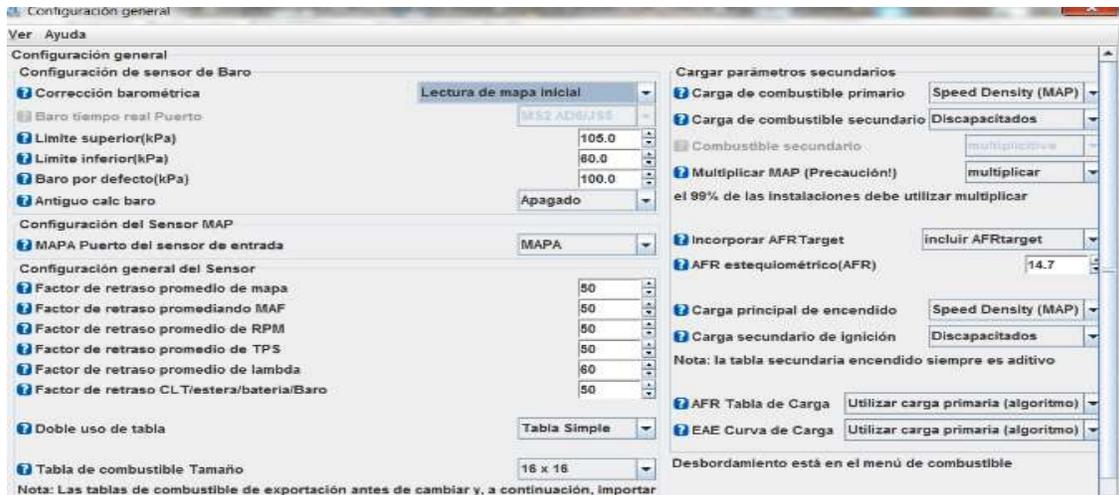


Nota. Imagen tomada para ingreso de datos de motor en Tuner Studio

De igual forma, se configura los valores del MAP y el tamaño de la tabla para el cálculo de combustible, la relación estequiométrica, el calculador de combustible y los algoritmos de cálculo tal como se aprecia a continuación

Figura 49

Ingreso de datos de configuración para cálculo de combustible



Nota. Imagen tomada para datos de configuración para cálculo de combustible en Tunner Studio

Una vez configurado el aire combustible, se ingresa los datos de combustible tal como se aprecia en la siguiente figura:

Figura 50

Ingreso de datos de combustible

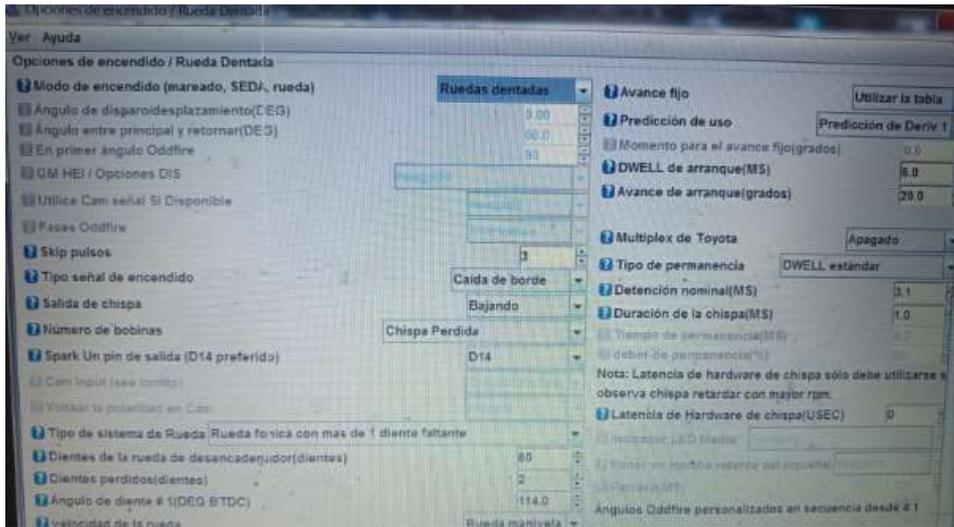


Nota. Imagen tomada para ingreso de datos de combustible en Tunner Studio

Después de encender el sistema, se ingresan los siguientes parámetros: tipo de CPK, skip de impulsos, salida de chispa de bobinas, tipo de bobina, diente de salida de la rueda fónica, cantidad de dientes de la rueda fónica, ángulo del diente perdido para el salto de la primera chispa y ángulo DWELL, como se muestra en la figura siguiente:

Figura 51

Configuración de chispa

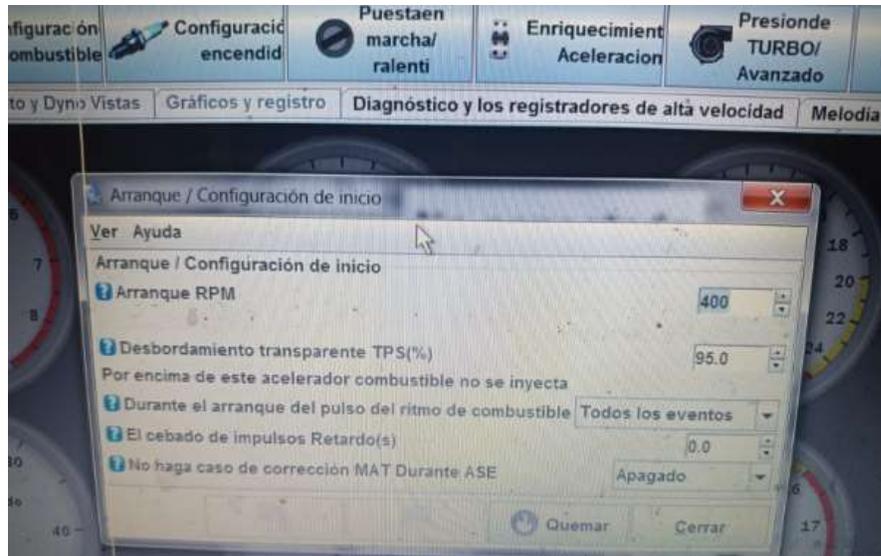


Nota. Imagen tomada para ingreso de datos de configuración de chispa en Tuner Studio

Cabe mencionar que la configuración de arranque, debe ser mínimo 400rpm y el desbordamiento o corte de combustible en arranque cuando la mariposa esté al 95% de apertura tal como se aprecia en la siguiente figura:

Figura 52

Configuración de encendido



Nota. Imagen tomada para ingreso de datos de configuración de encendido en Tuner Studio

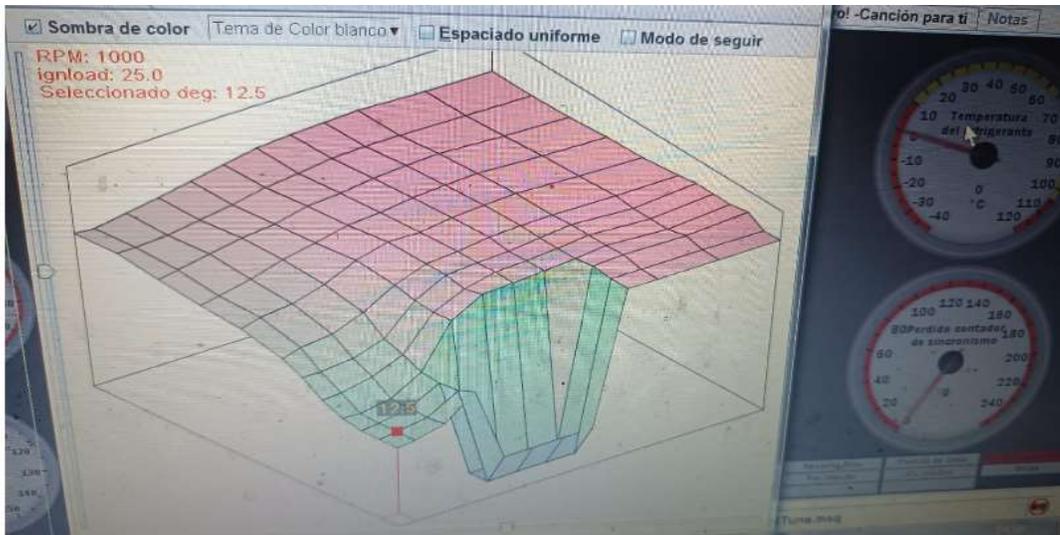
Una vez ingresados todos los parámetros iniciales, se procede al ingreso de datos de combustible tentativos, y los avances de encendido visualizando en la tabla y en el gráfico 3D, para lograr que se encienda el auto tal como se aprecia en las siguientes figuras:

Figura 53

Tabla de ajustes de combustible

	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500
100.0	47	47	48	48	19	50	50	51	52	53	54	55	56	57	58
95.0	45	46	47	47	18	48	49	50	52	53	54	55	56	57	58
90.0	41	43	43	43	16	47	48	49	51	52	53	54	55	57	58
80.0	38	39	40	42	13	45	46	48	50	52	53	54	55	56	56
75.0	38	37	39	40	11	43	45	47	49	51	52	53	54	55	55
70.0	34	36	37	37	9	40	42	44	47	49	50	51	52	53	53
65.0	33	33	34	35	8	37	39	42	45	47	49	50	51	52	52
60.0	30	30	30	32	7	35	36	39	42	44	46	47	48	48	48
55.0	28	28	28	29	6	32	33	35	38	43	42	43	44	45	45
50.0	25	25	25	26	5	29	30	33	35	37	38	39	40	41	42
45.0	23	23	23	24	4	26	28	29	31	32	33	34	35	36	36
40.0	21	22	22	22	3	23	24	25	26	27	28	29	30	31	31
35.0	20	20	18	20	2	20	21	22	23	23	24	25	25	26	27
30.0	18	17	17	17	1	18	19	20	21	21	22	23	23	24	25
25.0	16	16	16	16	0	16	17	18	19	19	20	20	21	21	22
20.0	8	8	8	8	0	10	12	13	13	14	14	14	16	16	17

Nota. Imagen tomada para ingreso de datos de tabla de ajustes en Tuner Studio

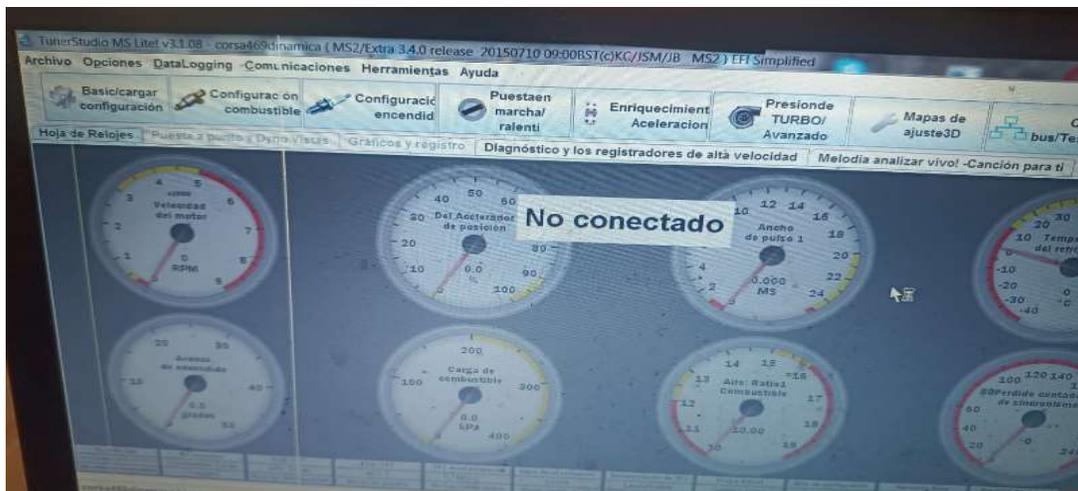


Nota. Mapa 3D del ajuste de encendido en Tuner Studio

Una vez configurado todo, se procede a encender el auto. Para ello, la ubicación debe estar establecida en la pantalla principal para dar el encendido respectivo tal como se aprecia en la siguiente figura:

Figura 57

Pantalla principal para encendido del auto



Nota. Pantalla de encendido del vehículo en Tuner Studio

Resultados.

La implementación de una ECU programable, como la MicroSquirt, en un auto de competición de rally, específicamente en un Renault Clio de 1400 cc, es una tarea que requiere precisión y conocimientos técnicos avanzados. A continuación, se detalla la experiencia en la instalación, configuración y ajuste de la ECU MicroSquirt utilizando el software TunerStudio MS, cuyo objetivo principal fue maximizar el potencial de rendimiento del motor y lograr un control avanzado para asegurar un desempeño superior en las competencias de rally.

Pruebas Dinámicas

Las pruebas dinámicas fueron esenciales para evaluar el comportamiento del motor y realizar ajustes precisos, iniciándose con pruebas de arranque para asegurar que el motor encendiera y funcionara de manera estable. Se utilizaron las herramientas de monitoreo en tiempo real de TunerStudio MS para observar los parámetros del motor y ajustar los valores según fuera necesario.

Para obtener la máxima potencia del motor mediante la gestión electrónica, es necesario realizar una calibración fina en dinamómetro una vez configurada y ajustada la ECU programable MicroSquirt. Durante esta calibración, se varían los valores de cantidad de combustible y adelanto de encendido para optimizar la potencia y el torque del motor, garantizando así una operación segura en diversas condiciones de carga del motor.

Calibración ECU programable MicroSquirt en dinamómetro

Para el proceso de calibración se debe seguir ciertos pasos en un orden específico.

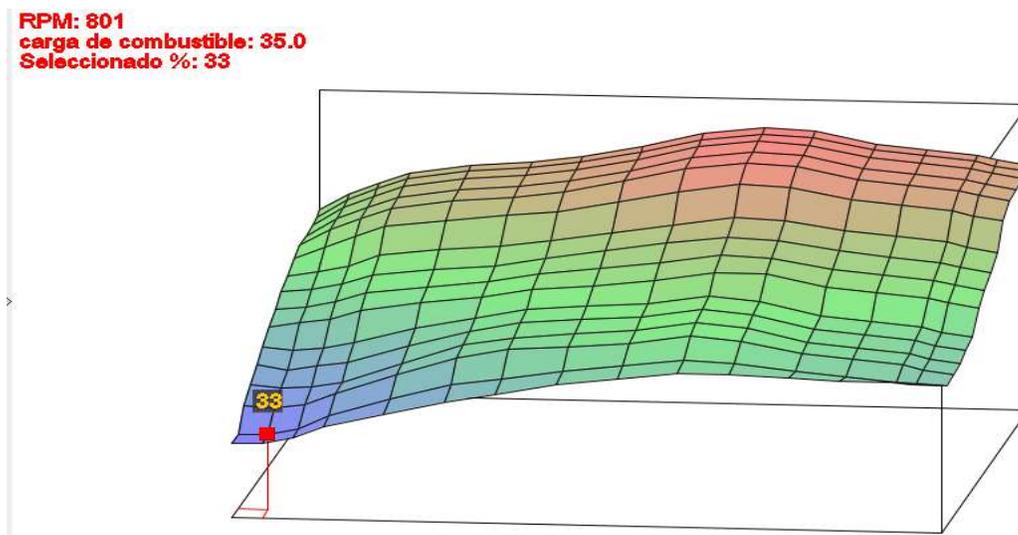
- Ingreso de datos para la configuración inicial de al menos tres pasadas en el dinamómetro para establecer una configuración básica, sea hacia arriba o hacia abajo tanto del combustible para ajustar la relación aire-combustible (AFR) en un

grado seguro donde no se vea afectado el motor al realizar las pasadas a altas revoluciones.

- Tener en consideración los sensores básicos para lograr el encendido del motor: sensor ECT de temperatura de refrigerante, CKP para saber las revoluciones del motor y el punto muerto superior, TPS para saber la cantidad de aire que ingresa al motor y ver la carga del mismo y el 0% y 100% de aceleración.
- Un ajuste inicial del mapa de mezcla adecuada de combustible para todo el rango de revoluciones (500rpm hasta 7000rpm) tal como se aprecia en la siguiente figura

Figura 58

Mapa inicial combustible

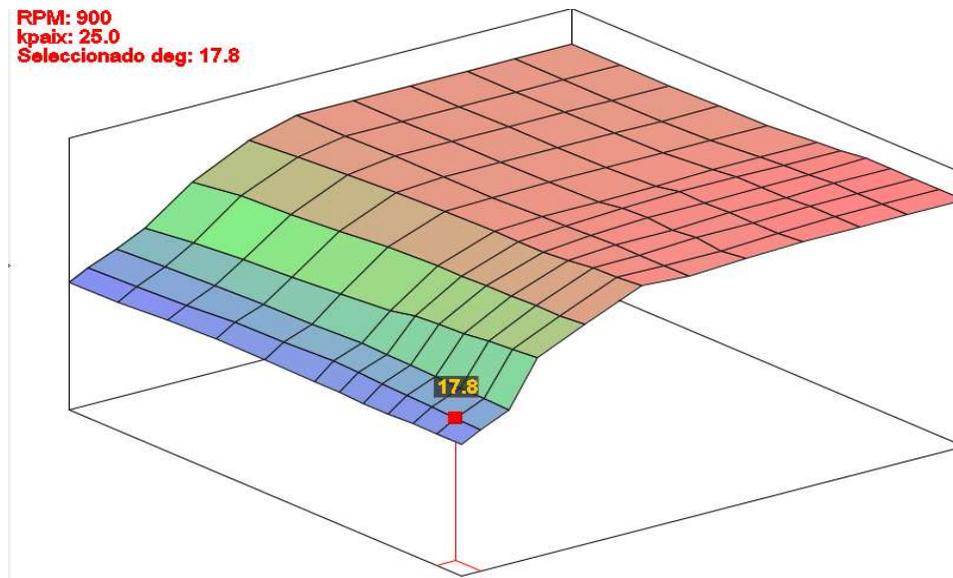


Fuente: Tunner Studio calibración básica Renault Clio

De igual manera un mapa de encendido promedio para todo el rango de revoluciones del motor, tal como se aprecia en la siguiente figura:

Figura 59

Mapa inicial de encendido



Fuente: TunnerStudio calibración básica Renault Clio

A continuación, viene la calibración fina y se realizan las pasadas necesarias en el dinamómetro en diferentes rangos de RPM y se realizan ajustes para tener un aumento de potencia y torque, considerando que en cada ajuste se valida con datos en tiempo real para tener mayor precisión

Resultados Obtenidos

La potencia final obtenida es 102.86 hp, lo que representa un incremento de 25.51 hp (32.98%) en comparación con la primera medición de 77.35 hp. Además, el torque ha mejorado de manera significativa, especialmente en los rangos medios, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 60

Gráficos de potencia final Renault clio

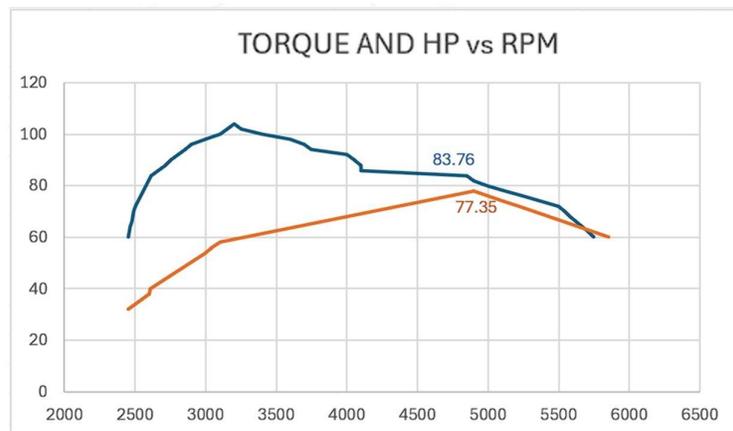


Fuente: Datos de dinamómetro en Dinámica Competition

La curva de color verde indica la elevación del Torque a bajas revoluciones (2800rpm) y la caída de la curva que empieza a 5200rpm, obteniendo un Torque final de 103.95 Nm

La curva de color roja en cambio indica la potencia máxima obtenida a 5300 rpm de 102.86 HP.

Figura 61
Gráficos del Torque y Potencia original Renault clio



Fuente: Datos de dinamómetro en Dinámica Competition

La curva de color verde indica la elevación del Torque a bajas revoluciones (3300rpm) y la caída de la curva marcada que empieza a 4800 rpm con un torque original

de 83.76 Nm. La curva de color roja en cambio indica la potencia máxima a 4850 rpm original de 77.35 HP.

Las tablas de combustible y avance de encendido quedaron de la siguiente manera:

Figura 62

Tabla de combustible

	501	801	1101	1401	2001	2601	3101	3700	4300	4900	5400	6000	6500	7000	7200	7500	
a	100.0	82	89	94	99	103	105	108	113	119	122	121	116	114	112	110	108
r	98.0	80	88	93	98	102	104	107	112	118	121	120	115	113	111	109	107
g	95.0	79	87	92	97	101	103	106	111	117	120	119	114	112	110	108	106
a	90.0	78	86	91	96	100	102	105	110	116	119	118	113	111	109	107	105
e	85.0	78	85	90	95	99	101	104	109	115	118	117	112	110	108	106	104
d	80.0	76	81	86	91	94	97	99	104	109	113	112	107	105	103	101	99
c	75.0	72	74	77	82	85	87	90	94	98	102	101	97	95	93	91	89
o	70.0	69	70	73	77	80	82	86	90	94	97	96	92	90	88	86	84
m	65.0	65	66	69	73	76	79	83	86	89	93	92	88	86	84	82	80
b	60.0	61	63	65	69	73	76	80	82	85	89	89	84	82	80	78	76
u	55.0	56	55	56	59	66	71	75	77	79	83	81	75	73	71	69	67
s	50.0	52	50	52	54	62	69	73	75	77	81	79	73	71	69	67	65
:	45.0	47	46	47	49	58	67	70	73	75	79	77	71	69	67	65	63
:	40.0	42	41	43	48	57	65	69	71	73	77	75	70	68	66	64	62
:	35.0	33	33	36	42	50	57	60	64	67	70	69	66	64	62	62	61
:	30.1	33	33	36	41	47	53	57	62	65	68	68	67	66	65	65	65

Fuente: Programa Tunner Studio de la calibración del Renault Clio

La tabla de combustible se encuentra representada en porcentaje (%) la eficiencia volumétrica (VE) del motor en cada punto de carga y rpm.

Figura 63

Tabla de encendido

	701	900	1200	1500	2000	2600	3100	3700	4300	4900	5400	6000	
i	100.0	15.3	17.3	19.5	22.1	28.2	33.5	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
g	90.0	15.6	17.7	20.0	23.3	29.5	34.3	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
n	80.0	16.0	18.0	20.5	24.0	29.9	34.8	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
l	70.0	16.5	18.8	20.8	24.6	30.8	35.3	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
o	60.0	16.5	19.0	21.0	25.5	31.7	35.8	36.0	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2
a	50.0	16.3	19.3	21.3	26.3	32.0	36.0	36.5	36.5	36.5	37.0	37.0	37.0
d	45.0	16.2	19.1	21.2	27.3	32.1	36.0	36.6	37.2	37.5	37.5	37.5	37.5
k	40.0	16.0	18.9	21.1	27.7	32.2	36.0	36.8	37.4	37.4	37.6	37.6	38.0
p	35.0	16.0	18.7	20.9	27.9	32.3	36.4	37.0	37.0	37.5	37.5	38.0	38.0
a	30.0	16.1	18.5	20.7	28.3	32.4	36.8	37.0	37.5	37.5	38.0	38.0	38.0
:	25.0	16.2	18.3	20.6	28.3	32.4	37.0	37.0	37.5	37.5	38.0	38.0	38.0
:	20.1	15.7	17.5	20.0	30.0	33.0	38.0	37.0	37.5	38.0	38.0	38.0	38.0

Fuente: Programa Tunner Studio de la calibración del Renault Clio

La tabla de avance de chispa se encuentra representada en grados angulares.

Estabilidad y Seguridad

Las pruebas se realizaron durante 6 horas continuas en las cuales no se tuvo caída de presión de aceite de motor, se mantuvo en ralentí a 20 psi y a 6000 rpm 60 psi.

Asimismo, la temperatura el motor no sobrepasó los 95 °C, y durante todas las pruebas no se detectó detonación o sobrecalentamiento, por lo tanto, la calibración es segura y estable, garantizando que no va a fallar durante una competencia automovilística.

Gráficos y Datos

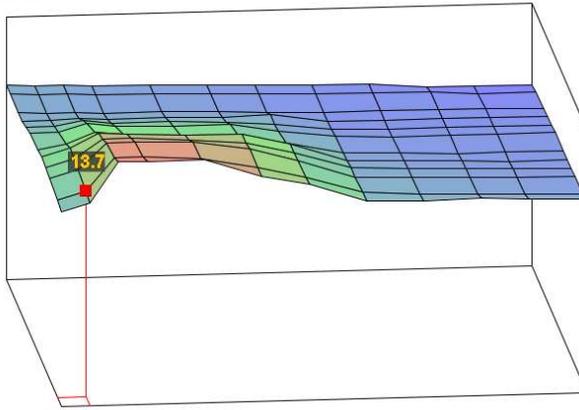
El gráfico obtenido del dinamómetro muestra una curva de potencia y torque con un aumento constante en la salida de potencia desde las bajas revoluciones. Esta curva es suave y sin picos, lo que indica una entrega de potencia uniforme; la curva de torque muestra un incremento notable en el rango medio, lo que sugiere una respuesta rápida y óptima en condiciones de arranque y cuando el motor aumenta de revoluciones.

El gráfico de AFR indica una mezcla controlada y exacta de 13.7:1, con valores óptimos durante la operación de aceleración (Ver figura 64).

Figura 64

Tabla 3D AFR

RPM: 800
 afloat1: 35.0
 Seleccionado AFR: 13.7



Fuente: Pantalla calibración TunerStudio de calibración Renault Clio

Figura 65

Tabla numérica AFR

	100.0	95.0	85.0	80.0	75.0	70.0	60.0	55.0	50.0	45.0	35.0	30.0	
a	13.0	12.9	12.9	12.9	12.8	12.8	12.7	12.6	12.5	12.5	12.2	12.2	
f	13.0	12.9	12.9	12.8	12.8	12.8	12.7	12.6	12.5	12.5	12.5	12.3	
r	13.0	12.9	12.9	12.8	12.8	12.7	12.6	12.5	12.5	12.5	12.5	12.4	
l	13.0	13.0	13.1	13.0	13.0	12.9	13.0	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	
o	13.2	13.2	13.5	13.3	13.3	13.2	13.0	12.6	12.5	12.5	12.5	12.5	
a	13.4	13.4	13.9	13.7	13.6	13.6	13.1	12.7	12.6	12.6	12.6	12.6	
d	13.5	13.8	14.5	14.3	14.1	14.1	13.5	12.8	12.7	12.6	12.6	12.6	
1	13.6	14.1	15.0	14.9	14.7	14.7	14.0	12.9	12.8	12.7	12.6	12.6	
k	13.5	14.0	15.2	15.2	15.0	14.7	14.0	13.0	12.9	12.8	12.7	12.6	
P	13.4	13.9	15.5	15.5	15.4	14.9	14.1	13.0	12.9	12.8	12.7	12.7	
a	13.2	13.7	15.7	15.7	15.5	14.9	14.2	13.2	13.0	12.9	12.8	12.7	
	13.0	13.5	16.0	16.0	16.0	14.9	14.3	13.2	13.1	13.2	13.1	13.0	
		500	800	1100	1400	2000	2600	3100	3700	4300	4900	5400	6000
		RPM											

Fuente: Pantalla calibración TunerStudio de calibración Renault Clio

Discusión de Resultados

La implementación de la ECU MicroSquirt en el Renault Clio de competición de rally demostró un incremento significativo en el rendimiento del motor, con un aumento del 32.98% en la potencia y una mejora notable en el torque, especialmente en los rangos

medios. Estos resultados son consistentes con estudios previos que han explorado la optimización de motores mediante la reprogramación de ECUs. Por ejemplo, Amaya (2017) investigó la influencia del uso de software dedicado en la reprogramación de ECUs y encontró que la personalización de los mapas de inyección y encendido permite mejorar la eficiencia y el rendimiento del motor, lo que coincide con los hallazgos de este proyecto.

Además, el uso de la ECU MicroSquirt permitió un control avanzado del motor, lo que es determinante en competiciones de rally donde la respuesta del motor y la estabilidad son factores decisivos en una carrera. Este resultado es similar al reportado por Trujillo et al. (2020), quienes destacaron que las ECUs programables permiten un ajuste preciso de los parámetros del motor, lo que se traduce en una mayor potencia y un mejor control en condiciones de alta exigencia. La capacidad de la MicroSquirt para adaptarse a diferentes configuraciones de motor y su flexibilidad en la calibración de mapas de combustible y encendido fueron la clave para lograr estos resultados.

En cuanto a la metodología empleada, el uso de pruebas en dinamómetro y en condiciones reales de competición permitió ajustar los parámetros de la ECU de manera precisa. Este enfoque es similar al utilizado por Palacios y Rocha (2022), quienes diseñaron un emulador de señales para ajustar mapas tridimensionales de inyección y encendido en ECUs programables. Ambos estudios resaltan la importancia de realizar pruebas empíricas para optimizar el rendimiento del motor, lo que refuerza la validez de los resultados obtenidos en este proyecto.

Por otro lado, la estabilidad y seguridad del motor durante las pruebas fueron aspectos destacados en este estudio. El motor no presentó sobrecalentamiento ni detonaciones, lo que indica que los ajustes realizados fueron adecuados y seguros. Este hallazgo es consistente con lo reportado por Carrera (2018), quien implementó modificaciones en un Renault Clio 1.4 cc y encontró que un control preciso de la

temperatura y la presión del motor es esencial para garantizar su durabilidad y rendimiento en competiciones.

Sin embargo, es importante mencionar que la MicroSquirt, aunque es una opción accesible y versátil, tiene limitaciones en comparación con ECUs de gama alta como las de Haltech o MoTeC. Estas últimas ofrecen mayor capacidad de procesamiento, más entradas y salidas, y un software más avanzado para la calibración y análisis en tiempo real (MARS Technical Solutions, 2023). A pesar de estas limitaciones, la MicroSquirt demostró ser una solución efectiva para el Renault Clio de competición, logrando un equilibrio entre coste y funcionalidad.

Finalmente, los resultados obtenidos en este proyecto abren la puerta a futuras investigaciones y posibles mejoras. Por ejemplo, la implementación de barras de levas de mayor duración y alzada podría aumentar aún más las revoluciones del motor y, por ende, su potencia. Además, la realización de nuevas calibraciones en caso de modificaciones adicionales en el motor, como cambios en la admisión o la relación de compresión, permitiría seguir optimizando su rendimiento.

Conclusiones

El análisis de la ECU MicroSquirt permitió identificar sus características clave, como su flexibilidad para ajustar mapas de inyección y encendido, su capacidad para adaptarse a diferentes configuraciones de motor y su resistencia a condiciones extremas. Estas características la convierten en una herramienta efectiva para mejorar el rendimiento en un auto de rally como el Renault Clio. La implementación de la MicroSquirt demostró que es posible optimizar la potencia y el torque del motor, logrando un incremento del 32.98% en la potencia final. Este resultado confirma que la MicroSquirt tiene un alto potencial para maximizar el rendimiento en vehículos de competición, siempre y cuando se realice una calibración adecuada. Lo expuesto anteriormente da cumplimiento al objetivo específico referente al análisis del funcionamiento de la ECU programable MicroSquirt y su potencial para mejorar el rendimiento en un auto de rally Renault Clio.

En cuanto al objetivo que consistió en la implementación de la ECU programable MicroSquirt en el sistema de gestión del motor de un auto Renault Clio de competición de rally, la misma fue llevada a cabo con éxito, asegurando una integración eficiente con los componentes existentes del vehículo. Se realizó una evaluación detallada del motor y sus sensores, identificando aquellos que debían ser integrados con la MicroSquirt, como el sensor CKP, MAP, TPS y CLT. La instalación física de la ECU y la conexión de los sensores y actuadores se realizaron siguiendo un esquema de cableado adecuado, lo que garantizó una comunicación precisa entre la ECU y los componentes del motor. Este proceso demostró que la MicroSquirt es compatible con los sistemas de encendido y gestión del motor del Renault Clio, lo que permitió su correcto funcionamiento en condiciones de competición.

Finalmente, el último objetivo que consistió en los ajustes realizados en los parámetros de la ECU MicroSquirt, mediante pruebas en dinamómetro y en condiciones reales de competición, permitieron optimizar el rendimiento del motor. Se desarrollaron y

ajustaron los mapas de inyección y encendido, logrando un equilibrio óptimo entre potencia y eficiencia. Las pruebas dinámicas demostraron que el motor operó de manera estable y segura, sin presentar sobrecalentamiento ni detonaciones. Además, se observó una mejora significativa en el torque, especialmente en los rangos medios, lo que es crucial para mantener la tracción y la estabilidad en las condiciones variables de un rally. Estos resultados confirman que la calibración de la ECU es un proceso fundamental para maximizar el potencial de rendimiento del motor en competiciones.

En síntesis, la implementación y ajuste de la ECU MicroSquirt en el Renault Clio de competición de rally no solo cumplió con los objetivos establecidos, sino que también demostró que es posible lograr mejoras significativas en el rendimiento y control del motor a través de la reprogramación de la ECU. La MicroSquirt se posicionó como una solución práctica y accesible para optimizar el rendimiento en vehículos de competición, aunque es importante reconocer que tiene algunas limitaciones cuando se compara con ECUs de gama alta

Recomendaciones.

En base a las conclusiones obtenidas, se debe profundizar en el estudio de las limitaciones de la ECU MicroSquirt, ya que, aunque ha demostrado ser una herramienta efectiva, es importante analizar en qué aspectos podría presentar desventajas en comparación con unidades de control de mayor gama, como las ofrecidas por Haltech o MoTeC. Esto permitiría determinar en qué contextos o condiciones específicas su uso podría no ser la opción más adecuada. Asimismo, para aplicaciones más avanzadas que requieran un mayor nivel de personalización o un control más preciso, resulta conveniente explorar alternativas de ECUs de alto rendimiento, especialmente en entornos de competición donde cada detalle influye en el desempeño del vehículo. Por otro lado, la capacitación continua en el uso de la MicroSquirt es un factor importante para maximizar su rendimiento. Una calibración adecuada es fundamental, por lo que se recomienda instruir al personal técnico en el manejo avanzado del software TunerStudio, así como en técnicas de ajuste de mapas de inyección y encendido, asegurando así un óptimo aprovechamiento de esta ECU.

Para futuras implementaciones, es recomendable documentar de manera detallada el proceso de instalación y configuración de la ECU MicroSquirt. Esto implica la creación de un manual que incluya el esquema de cableado, la identificación de sensores y actuadores, así como los pasos necesarios para integrar la ECU en el sistema del vehículo. Contar con esta documentación facilitará la replicabilidad del proceso en otros proyectos, asegurando una instalación más eficiente y estandarizada. Además, dado que la MicroSquirt ha demostrado ser compatible con el Renault Clio, sería conveniente realizar pruebas en otros modelos de vehículos de competición. Esto permitiría evaluar su versatilidad y adaptabilidad en distintas configuraciones, ampliando así su rango de aplicaciones y confirmando su desempeño en diferentes contextos. Por otro lado, la protección eléctrica del sistema es un aspecto a mejorar, ya que a pesar de que se han utilizado fusibles para resguardar los componentes, se recomienda la implementación de sistemas adicionales de seguridad, como relés de protección y circuitos de desconexión automática. Estas medidas minimizarían el riesgo de daños en caso de fallos eléctricos, aumentando la confiabilidad y durabilidad del sistema.

Para garantizar un rendimiento óptimo del motor, es importante realizar calibraciones periódicas de la ECU, especialmente después de modificaciones en el motor o cambios en las condiciones de competición. Estas calibraciones permitirán mantener un ajuste preciso de los parámetros de inyección y encendido, asegurando así el máximo desempeño del sistema. Asimismo, en futuras pruebas dinámicas, se recomienda incluir variables

adicionales, como la humedad ambiental, la altitud y la temperatura del aire. La consideración de estos factores permitirá ajustar los mapas de inyección y encendido con mayor precisión, logrando una mejor adaptación a distintas condiciones de operación. Otro aspecto a mejorar es la optimización del torque en todos los rangos de revoluciones. Aunque se ha conseguido una mejora notable en los rangos medios, es importante seguir trabajando en la optimización del torque en los rangos bajos y altos, con el objetivo de obtener un rendimiento más equilibrado en todas las condiciones de conducción. Por último, se sugiere explorar la integración de sensores adicionales que puedan proporcionar datos más completos para la calibración de la ECU. Sensores como los de presión de aceite o temperatura de escape permitirían un monitoreo más preciso del motor, facilitando ajustes más detallados y mejorando la eficiencia del sistema en su conjunto.

Referencias

- Abreu, J. (2012). Hipótesis, método & diseño de investigación (hypothesis, method & research design). Daena: International Journal of Good Conscience, 7(2), 187-197.
- Alencastro, J., y Guamancuri, F. (2023). LA FEDERACIÓN ECUATORIANA DE AUTOMOVILISMO Y KARTISMO (FEDAK).
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/19221/1/65T00496.pdf>
- Ahmed, I. (2020). Engine Coolant Temperature Sensor in Automotive Applications.
https://www.researchgate.net/publication/344327217_Engine_Coolant_Temperature_Sensor_in_Automotive_Applications
- Alfonso, J. (2019). La versión de Rally preparada para la competición.
<https://www.autobild.es/noticias/video-renault-clio-rally-2020-radical-506505>
- Amaya, S: (2017). Investigación de la influencia del uso de software dedicado en la reprogramación en red para el mapeo de la ECU programable en el motor PEUGEOT 407. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13797/1/T-ESPEL-MAI-0593.pdf>
- Arévalo, M. y Mendoza, A. (2023). Estudio e Implementación de un Banco para Comprobación y Diagnóstico de Módulos Automotrices.
<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/6006/1/UIDE-G-TMA-2023-26.pdf>
- Barrera, I. (2023). Diseño y construcción de un equipo para prueba y diagnóstico aplicado para sensores automotrices del sistema de inyección electrónica de automóviles.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25150/1/UPS-GT004446.pdf>
- Barreto, K. (2021). <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/4804/1/T-UIDE-0252.pdf>

- Burgos, N. y Pacheco, C: (2018). Diseño y desarrollo de un banco de pruebas para diagnostico automotriz.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16521/1/UPS-GT002422.pdf>
- Carrera, J. (2018). Implementación de las características de eficiencia de un motor Renault Clio 1.4 cc 16 válvulas al variar secuencialmente elementos posibles de trucaje para competición. https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/20103/1/9785_1.pdf
- Coronel, A. (2024). Encendido de un motor Daewoo Lanos a gasolina mediante el programador automotriz ECU K-TAG.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27356/1/UPS-CT011315.pdf>
- Expreso. (2024). Especial Autos 2024.
https://services.expreso.ec/pdf/ESPECIAL_AUTOS_2024.pdf
- Guilcamaigua, M. Ángel, Suntaxi-Suntaxi, V. G., Lema-Parra, E. F., & Maldonado-Páez, F. E. (2023). Actualidad de la unidad de control del motor. Avances y funcionalidad. Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación. ISSN: 2737-6249., 6(12), 223-239. <https://doi.org/10.46296/ig.v6i12.0113>
- Lázaro, M. (2023). Reforma mecánica de un vehículo para su adaptación al rally.
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/59595/TFG-I-2496.pdf?sequence=1>
- López, A. (2018). Diseño, simulación y construcción de una estructura de roll bar para un vehículo de competición modalidad rally, según normativa FIA artículo 253-2014, mediante análisis computacional por el método de elementos finito.
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28775/1/Tesis%20I.%20M.%20A89%20-%20L%C3%B3pez%20Montalvo%20Andr%C3%A9s%20Marcelo.pdf>

- Mayancela, S., y Crespo, K. (2023). Construcción de un panel de pruebas para el diagnóstico del sistema de inyección de un motor Mazda 2.6 LTS año 2004.
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/13374/1/18899.pdf>
- MARS Technical Solutions (2023) *MicroSquirt ECU Versión 3.0*
- Megasquirt. (2015). Microsquirt Hardware Manual.
<https://www.efisource.com/wp/docs/MicroSquirtHDWManualRS.pdf>
- Morales, N. (2015). Investigación exploratoria: tipos, metodología y ejemplos. Recuperado de <https://www.lifeder.com/investigacion-exploratoria>.
- Ortega, A. O. (2018). Enfoques de investigación. Métodos para el diseño urbano–Arquitectónico, 1, 9-10.
- Palacios, C., y Rocha, H. (2022). Diseño de un emulador de señales para realizar el ajuste y modificación de mapas tridimensionales de inyección y encendido de computadores programables automotrices.
<https://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/33214/1/T-ESPEL-MAI-0766.pdf>
- Puzlemotor. (2020). Reault CLio Rally.
<https://www.puzlemotor.com/index.php/project/renault-clio-rally-5-unidad-01/>
- Queza, A., Neira, D., Arias, D., Sarmiento, C., y Quito, B. (2018). Diagnostico de sensores TPS y MAF en un motor Hyundai Sonata 2.0 mediante el uso de scanner automotriz y osciloscopio. Revista Juventud y ciencia solidaria.
https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18246/1/Rev_Juv_Cie_Sol_0302.pdf

Rodríguez, J. (2018). Análisis electrónico de una unidad de control de motor (ECU) FORD-WV tipo EEC-IV. Universidad Señor de Sipán.

<https://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/download/1079/920/3684>

SKODA: (2020). Las innovaciones técnicas probadas en competición llegan a los vehículos ŠKODA. <https://comunicacion.skoda.es/2020/06/04/las-innovaciones-tecnicas-probadas-en-competicion-llegan-a-los-vehiculos-skoda/>

Toyota Motor Sales. (2017). Pressure sensors. <http://autoshop101.com/forms/h35.pdf>

Trujillo-Tello, J., Padilla-Padilla, C., Buenaño-Moyano, L., & Cuaical-Angulo, B. (2020). Evolución y Tendencia de los Sistemas de Control de Motores de Combustión Interna Alternativos, Una Revisión Bibliográfica. *INGENIO*, 3(2), 5–14.
<https://doi.org/10.29166/ingenio.v3i2.2718>