

REPÚBLICA DEL ECUADOR



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA AUTOMOTRIZ MENCIÓN**  
**NEGOCIOS AUTOMOTRICES**



**TEMA: EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE UN VEHÍCULO CON EL  
AJUSTE DE PARÁMETROS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA  
MEDIANTE SOFTWARE.**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Magíster en Ingeniería  
automotriz con mención en negocios automotrices.

**AUTOR: Ing. Richar Stalin Hernández Mejía**  
**DIRECTOR: Ing. Andrés Felipe Cevallos Gonzáles MsC.**  
**ASESOR: Ing. Edwin Salomón Arroyo Terán MsC.**

**IBARRA - ECUADOR**

**2025**

REPÚBLICA DEL ECUADOR



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA



## CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 22 de julio de 2025

Ing. Andrés Felipe Cevallos González, MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

### **CERTIFICA:**

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Andrés Felipe Cevallos González

C.C.: 1003195656

REPÚBLICA DEL ECUADOR



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA



### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	040164593-2		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Hernández Mejía Richar Stalin		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Laguna Quindecocha y Laguna Voladero		
<b>EMAIL:</b>	staric.richar@gmail.com		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0968947812

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE UN VEHÍCULO CON EL AJUSTE DE PARÁMETROS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA MEDIANTE SOFTWARE.
<b>AUTOR (ES):</b>	Hernández Mejía Richar Stalin
<b>FECHA:</b>	22/07/2025
<b>PROGRAMA DE POSGRADO</b>	Maestría en Ingeniería Automotriz con mención en Negocios Automotrices
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	MSc. Ingeniería Automotriz con mención en Negocios Automotrices
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Andrés Felipe Cevallos González, MSc.

## **2. CONSTANCIAS**

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 22 días del mes de julio de 2025

### **EL AUTOR:**

Nombre: Hernández Mejía Richar Stalin  
CI: 040164593-2

## Contenido

RESUMEN.....	xi
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA .....	1
1.1    Planteamiento del problema .....	1
1.2    Antecedentes.....	2
1.3    Objetivos.....	4
1.3.1    Objetivo general.....	4
1.3.2    Objetivos específicos .....	4
1.4    Justificación .....	4
1.5    Alcance .....	4
CAPÍTULO II .....	6
MARCO REFERENCIAL .....	6
2.2    Marco teórico.....	6
2.2.1    OBD II.....	6
2.2.2    Sistema de Inyección electrónica .....	6
2.2.3    Unidad de control electrónico ECU .....	7
2.2.4    Herramientas de programación de la ECU .....	8
2.2.4.1    Software HPtuners. ....	9
2.2.5    Análisis de Gases .....	10
2.2.6    Normativa NTE INEN 2204 Segunda revisión 2017-01 .....	11
2.3    Marco legal .....	12
2.3.1    Constitución de la República del Ecuador.....	12
2.3.2    Código Orgánico del Medio Ambiente .....	12
2.3.3    Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 .....	12
CAPÍTULO III.....	13
MARCO METODOLÓGICO .....	13
3.1    Descripción del área de estudio / Descripción del grupo de estudio .....	13
3.2    Enfoque y tipo de investigación .....	13
3.3    Procedimiento de investigación.....	14
3.3.1    Diagrama de flujo de metodología. ....	14
3.3.2    Fase 1: Selección de vehículo. ....	15
3.3.3    Fase 2: Identificación de parámetros modificables.....	15
3.3.4    Fase 3: Medición de gases previo a la modificación de parámetros .....	48
3.4    Consideraciones bioéticas.....	52
CAPÍTULO IV .....	53
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53

4.1	Evaluación de emisiones del vehículo.....	53
4.1.1	Prueba de emisión de gases del vehículo .....	53
4.2	Parámetros seleccionados para ser modificados.....	53
4.2.1	Modificación de parámetros.....	55
4.3	Resultado de emisiones del vehículo con parámetros modificados ...	56
4.3.1	Prueba de emisión de gases del vehículo con parámetros modificados ....	56
CAPÍTULO V .....		61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		61
5.1	Conclusiones.....	61
5.2	Recomendaciones .....	63
REFERENCIAS .....		64
ANEXOS.....		66

**INDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b>	Lista de marcas de vehículos compatibles con el software HPtuners ..	10
<b>Tabla 2</b>	Resultado de prueba de emisiones sin modificaciones.....	53
<b>Tabla 3</b>	Resultado de emisiones incrementando el valor lambda.....	57
<b>Tabla 4</b>	Resultado de emisiones reduciendo el valor lambda.....	58

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Esquema de sensores y actuadores del sistema de inyección electrónica.....	7
<b>Figura 2</b>	Procesamiento de señales de la unidad de control .....	8
<b>Figura 3</b>	Dispositivo de interfaz HPtuners .....	9
<b>Figura 4</b>	Analizador de gases. ....	11
<b>Figura 5</b>	Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática).....	12
<b>Figura 6</b>	Diagrama de flujo de metodología.....	14
<b>Figura 7</b>	Chevrolet Tahoe 2001 .....	15
<b>Figura 8</b>	Interfaz Software HPtuners .....	16
<b>Figura 9</b>	Ventana Favoritos .....	17
<b>Figura 10</b>	Ventana OS Sistema Operativo.....	17
<b>Figura 11</b>	Ventana Engine .....	18
<b>Figura 12</b>	Ventana Engine - General.....	18
<b>Figura 13</b>	Ventana Engine - Idle .....	19
<b>Figura 14</b>	Ventana Engine - Idle - RPM.....	19
<b>Figura 15</b>	Ventana Engine - Idle - Airflow .....	20
<b>Figura 16</b>	Ventana Engine - Airflow .....	20
<b>Figura 17</b>	Ventana Engine - Airflow - General.....	21
<b>Figura 18</b>	Ventana Engine - Airflow - Dynamic .....	22
<b>Figura 19</b>	Ventana Engine - Airflow - Electronic Throttle .....	22
<b>Figura 20</b>	Ventana Engine - Exhaust.....	23
<b>Figura 21</b>	Ventana Engine - Fuel.....	23
<b>Figura 22</b>	Ventana Engine - Fuel - General.....	24
<b>Figura 23</b>	Ventana Engine - Fuel - Oxygen Sensor.....	24
<b>Figura 24</b>	Ventana Engine - Fuel - Open Loop / Base .....	25
<b>Figura 25</b>	Ventana Engine - Fuel - Power Enrich .....	25
<b>Figura 26</b>	Ventana Engine - Fuel - Temperature Control.....	26
<b>Figura 27</b>	Ventana Engine - Fuel - Cutoff. DFCO .....	26
<b>Figura 28</b>	Ventana Engine - Fuel - Lean / Fuel-Saving.....	27
<b>Figura 29</b>	Ventana Engine - Fuel - Transient .....	27
<b>Figura 30</b>	Ventana Engine - Spark .....	28
<b>Figura 31</b>	Ventana Engine - Spark - Advance.....	28

<b>Figura 32</b> Ventana Engine - Spark - Retard .....	29
<b>Figura 33</b> Ventana Engine - Spark - Dwell .....	29
<b>Figura 34</b> Ventana Engine - Spark - Knock Sensor .....	30
<b>Figura 35</b> Ventana Engine - Torque Model.....	30
<b>Figura 36</b> Ventana Engine - Torque Model - General.....	31
<b>Figura 37</b> Ventana Engine - Torque Model - Loss.....	31
<b>Figura 38</b> Ventana Engine - Torque Management .....	32
<b>Figura 39</b> Ventana Engine - Torque Management - General .....	33
<b>Figura 40</b> Ventana Engine - Torque Management - Engine.....	33
<b>Figura 41</b> Ventana Engine - Torque Management - Abuse.....	34
<b>Figura 42</b> Ventana Engine Diag .....	34
<b>Figura 43</b> Venta Engine Diag - Airflow .....	35
<b>Figura 44</b> Ventana Engine Diag - Misfire .....	36
<b>Figura 45</b> Ventana Engine Diag - DTCs .....	36
<b>Figura 46</b> Ventana Trans .....	37
<b>Figura 47</b> Ventana Trans - General .....	37
<b>Figura 48</b> Ventana Trans - Manual.....	38
<b>Figura 49</b> Ventan Trans – Shift General.....	38
<b>Figura 50</b> Ventana Trans – Shift Scheduling .....	39
<b>Figura 51</b> Ventana Trans – Shift Pressures .....	39
<b>Figura 52</b> Ventana Trans - Shift Pressures - General.....	40
<b>Figura 53</b> Ventana Trans - Shift Pressures - Upshift.....	40
<b>Figura 54</b> Ventana Trans - Shift Pressures - Downshift.....	41
<b>Figura 55</b> Ventana Trans - Shift Timing .....	41
<b>Figura 56</b> Ventana Trans - Torque Converter .....	42
<b>Figura 57</b> Ventana Trans - Torque Converter – General.....	42
<b>Figura 58</b> Ventana Trans - Torque Converter – Apply/Release.....	43
<b>Figura 59</b> Ventana Trans - Torque Management .....	43
<b>Figura 60</b> Ventana Trans Diag .....	44
<b>Figura 61</b> Ventana Fuel Sys .....	44
<b>Figura 62</b> Ventana Sistema.....	45
<b>Figura 63</b> Ventana Sistema - General.....	45
<b>Figura 64</b> Ventana Sistema - Fans.....	46
<b>Figura 65</b> Ventana Sistema - A/C.....	46

<b>Figura 66</b> Ventana Speedo.....	47
<b>Figura 67</b> Venatana Speedo - Calibration .....	47
<b>Figura 68</b> Ventana Speedo - Limiter .....	48
<b>Figura 69</b> Analizador de gases AGS-688 .....	49
<b>Figura 70</b> Características del Analizador de gases AGS-688.....	50
<b>Figura 71</b> Rangos de mediciones del Analizador de gases AGS-688 .....	51
<b>Figura 72</b> Valor inicial mezcla estequiométrica .....	54
<b>Figura 73</b> Valor lambda en función de rpm.....	54
<b>Figura 74</b> Valor lambda en función de la temperatura del motor y presión de aire .....	55
<b>Figura 75</b> Comportamiento de emisiones en prueba estática en Ralentí.....	59
<b>Figura 76</b> Comportamiento de emisiones en prueba estática a 2500 rpm.....	60

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**INSTITUTO DE POSGRADO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA AUTOMOTRIZ CON**  
**MENCIÓN EN NEGOCIOS AUTOMOTRICES**

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE UN VEHÍCULO CON EL AJUSTE DE**  
**PARÁMETROS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA MEDIANTE**  
**SOFTWARE.**

**Autor:** Richar Stalin Hernández Mejía

**Tutor:** Ing. Andrés Cevallos MSC.

**Año:** 2025

**RESUMEN**

El estudio se fundamenta en la creciente preocupación por la contaminación atmosférica generada por los vehículos, especialmente debido a las emisiones de gases contaminantes que contribuyen al deterioro ambiental y afectan la salud pública; el objetivo general fue evaluar el impacto en las emisiones de un vehículo al ajustar los parámetros modificables que intervienen en incremento o reducción de emisiones mediante software especializado, buscando demostrar que una calibración adecuada puede reducir los contaminantes sin comprometer el rendimiento del motor; la metodología consistió en seleccionar un Chevrolet Tahoe 2001, realizar mediciones iniciales de emisiones según la normativa vigente, identificar y modificar parámetros críticos de la ECU utilizando el software HPtuners, y comparar los resultados de las pruebas de gases antes y después de los ajustes; los resultados posteriores a la modificación de parámetros muestran que al empobrecer la mezcla (aumentar el valor lambda), los porcentajes de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e hidrocarburos (HC) disminuyen siguiendo una tendencia descendente similar, mientras que el oxígeno (O<sub>2</sub>) aumenta, evidenciando la influencia directa del ajuste de la mezcla aire-combustible en la composición de los gases emitidos; por otro lado, al enriquecer la mezcla (reducir el valor lambda), los niveles de CO y HC se incrementan, aunque los hidrocarburos son notablemente menores a mayor velocidad del motor, mientras que el CO<sub>2</sub> aumenta hasta un punto máximo para luego descender y el O<sub>2</sub> disminuye, lo que resalta la importancia de considerar tanto la mezcla aire-combustible como la velocidad del motor para optimizar la reducción de emisiones.

**Palabras Clave:** Emisiones, programación, software.

## ABSTRACT

This study is based on the growing concern about air pollution generated by vehicles, especially due to the emissions of polluting gases that contribute to environmental degradation and affect public health. The overall objective was to evaluate the impact on vehicle emissions by adjusting modifiable parameters that increase or decrease emissions using specialized software. This study sought to demonstrate that proper calibration can reduce pollutants without compromising engine performance. The methodology consisted of selecting a 2001 Chevrolet Tahoe, performing initial emissions measurements according to current regulations, identifying and modifying critical ECU parameters using HPTuners software, and comparing the results of the exhaust gas tests before and after the adjustments. The results after parameter modification show that by leaning the mixture (increasing the lambda value), the percentages of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), and hydrocarbons (HC) decrease following a similar downward trend, while oxygen (O<sub>2</sub>) increases, demonstrating the direct influence of adjusting the air-fuel mixture on the composition of the gases emitted. On the other hand, by enriching the mixture (reducing the lambda value), the levels of CO and HC increase, although hydrocarbons are significantly lower at higher engine speeds. CO<sub>2</sub> increases to a peak and then decreases, and O<sub>2</sub> decreases, highlighting the importance of considering both the air-fuel mixture and engine speed to optimize emissions reduction.

**Keywords:** Emissions, programming, software.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad una prioridad es establecer un equilibrio en la convivencia entre la humanidad y la biosfera con el fin de garantizar el bienestar de la población [1]. En los últimos años, la preocupación por la contaminación del aire ha sido de suma importancia en el ámbito local, regional y global, tanto desde una perspectiva ambiental como para la salud humana [2]. La contaminación es una de las principales problemáticas existente en el planeta, la presencia de un sin número de factores que son partícipes dificulta la búsqueda de soluciones definitivas, y es aquí donde la industria automotriz es considerada parte del problema, debido a que los gases contaminantes emitidos por los vehículos potencian el calentamiento global y el deterioro de la capa de ozono.

La contaminación de las descargas de gases de escape afecta gravemente a la calidad del aire. Se están considerando varias tecnologías alternativas, como la mejora en el diseño del motor, el pretratamiento del combustible, el uso de combustibles alternativos y aditivos de combustible, el tratamiento de los gases de escape y un mejor ajuste del proceso de combustión, etc., para reducir los niveles de emisión del vehículo [3]. Los avances tecnológicos indistintamente del área de aplicación buscan mejorar las bases ya existentes y la industria automotriz de igual manera sigue este camino apuntando, por ejemplo, a la evolución del motor centrándose en aumentar su eficiencia, disminuir la contaminación y ahorro de combustible.

El gran salto tecnológico en el diseño de vehículos inició con la implementación de la electrónica, el sistema de inyección electrónica revolucionó el funcionamiento de los motores de combustión utilizados en la actualidad. Este sistema es usado en la mayoría de los motores, debido a sus prestaciones como una mayor facilidad de control, menor consumo de combustible y menor emisión de gases contaminantes al ambiente. El correcto funcionamiento es esencial para conservar estas cualidades en óptimas condiciones, cualquier contratiempo en la funcionalidad del motor producirá un aumento significativo en las emisiones de gases contaminantes.

En el Ecuador existen diversos factores que aumenta la probabilidad de que un vehículo no funcione de forma adecuada. El combustible de baja calidad es uno de los principales factores que deteriora los componentes del sistema de inyección electrónica, la programación y mapeo instalado en la ECU se simula en condiciones diferentes a las existentes en el país, características que pueden dar lugar a fallos difíciles de detectar

cuando el motor está funcionando. Por ello, realizar la modificación de la programación de la ECU con parámetros acorde a las condiciones del país es una alternativa para que el motor busque maximizar la eficiencia del motor y, consecuentemente, mitigar las emisiones de gases contaminantes. En este trabajo se desarrollará una metodología para ajustar los parámetros del sistema de inyección electrónica de un modelo específico de vehículo, utilizando un software de programación de la ECU, con la finalidad de reducir las emisiones de gases contaminantes arrojados al ambiente durante el proceso de combustión.

## **1.2 Antecedentes**

Actualmente, el impacto negativo de los gases contaminantes producidos por los vehículos en el medio ambiente y la salud humana es un tema de preocupación mundial. Esto se debe principalmente a la gran cantidad de emisiones nocivas que se liberan al entorno, contribuyendo de forma significativa a la contaminación del medio ambiente. La tecnología en el control de emisiones de gases contaminantes se ha desarrollado notablemente en los últimos años ya que los efectos de estos residuos químicos son muy notables en el daño al ecosistema en general [4].

Los vehículos que utilizan combustibles fósiles (diésel y gasolina) son los principales emisores de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrocarburos no combustionados (HC) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), causantes del deterioro de la salud pública y alteraciones al ecosistema [5]. Además, se debe recalcar que la demanda de combustible sigue en aumento debido a que otros tipos de energía alternativas no se han consolidado en el mercado, teniendo como consecuencia en el futuro escases de combustible [6]. Con la finalidad de reducir la contaminación ambiental las instituciones gubernamentales han implementado diferentes regulaciones, por ejemplo la Unión Europea ha puesto en marcha las regulaciones Euro VI con estándares más exigentes para el óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>); el transporte por carretera sigue siendo el principal contribuyente de emisiones en Europa (aproximadamente el 14%) [7].

El desarrollo tecnológico de la industria automotriz se enfoca en desarrollar motores más eficientes, sistemas adicionales enfocados en el tratamiento de los gases expulsados por el motor, mejores sistemas de transmisión, entre otros. Dentro de los sistemas de transmisión en el estudio realizado por [6] se demuestra una clara reducción de emisiones contaminantes producidas por el motor de combustión interna al utilizar una transmisión automática con respecto al mismo vehículo equipado con una transmisión manual.

Además, al lograr una mejor combustión de la mezcla aire-combustible se obtiene como resultado la reducción de emisión de gases contaminantes, el sistema de inyección electrónica es parte fundamental en el adelanto de este proceso. Los investigadores buscan establecer parámetros de calibración y modificación en el sistema de inyección enfocados en la reducción de gases contaminantes, por lo que existen diferentes herramientas que permiten realizar este tipo de trabajos.

Bajo esta directriz [8] realizaron una investigación donde se implementa una ECU programable en un vehículo con sistema de inyección convencional, con la finalidad de mejorar el rendimiento del motor y esto conlleve a la reducción de gases contaminantes. Esta ECU permite trabajar con el ajuste y calibración de parámetros que intervienen en la inyección de combustible obteniendo resultados positivos en el ahorro de combustible, menor emisiones contaminantes y aumento de potencia.

También [9] detallan un trabajo experimental que consistió en modificar los mapas cartográficos de la programación original de una ECU perteneciente a un vehículo de inyección electrónica, utilizando herramientas automotrices RACE EVO y NEW TRASDATA. Se recolectaron datos de emisión de gases de escape, valores de torque y potencia máximos, los resultados mostraron la reducción considerable de las emisiones de gases contaminantes, mientras se obtuvieron valores estables de torque y potencia.

Por otro lado [10] manifestó que los sistemas OBD deben ser capaces de detectar y registrar posibles anomalías en los sistemas relacionados con la emisión de gases contaminantes, lo que hace fundamental la gestión de la inyección electrónica de combustible para el correcto funcionamiento del vehículo. Esta evaluación consiste en analizar los defectos y consecuencias de los sistemas de inyección, para así fundamentar el trabajo bibliográfico sobre los errores comunes en vehículos con este tipo de sistema. Como resultado, fue necesario identificar el nivel de detalle de los sistemas de inyección de vehículos livianos en relación con la aparición de fallos.

Finalmente [11] centró su investigación en el estudio de los sistemas de inyección electrónica utilizados en los vehículos, así como en los diferentes tipos de motores y los cambios que se han implementado con el tiempo para mejorar los sistemas de control de emisiones. Se busca así conocer los parámetros de funcionamiento de los diferentes sistemas que intervienen en la combustión y mejorar la eficiencia en el desempeño del motor e influir de forma positiva en el control y gestión de las emisiones de gases contaminantes.

## **1.3 Objetivos**

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

Evaluar las emisiones de un vehículo con el ajuste de parámetros del sistema de inyección electrónica mediante software.

### **1.3.2 *Objetivos específicos***

- Identificar parámetros modificables del sistema de inyección electrónica mediante el software de programación de la ECU.
- Ajustar los parámetros de funcionamiento del Sistema de Inyección Electrónica para la reducción de emisiones mediante el software de programación de la ECU.
- Evaluar los niveles de emisiones de gases antes y después de realizar la modificación de parámetros de funcionamiento en la ECU.

## **1.4 Justificación**

La presente investigación ajustó los parámetros de funcionamiento del sistema de inyección electrónica que intervienen en la emisión de gases contaminantes de un modelo específico de vehículo, con el fin de modificarlos y reducir dichas emisiones. Además, se buscó contribuir con la conservación del medio ambiente para una sana convivencia de las personas.

Las personas pueden alcanzar una mejor calidad de vida al convivir en un ambiente más sano, la reducción de emisiones de gases contaminantes se convierte en una parte fundamental para garantizar el bienestar de futuras generaciones. En la actualidad la industria automotriz busca el desarrollo de tecnologías enfocadas en reducir la contaminación producida por los vehículos, el uso de biocombustibles, sistema de inyección electrónica más eficientes, implementación de catalizadores entre otras, sin embargo, esta investigación buscó cumplir el mismo objetivo, pero realizando la modificación de parámetros de funcionamiento.

Con la elaboración de esta investigación se contribuyó con el Plan de Creación de oportunidades 2021-2025, dentro del Objetivo 11 Conservar, restaurar, proteger y hacer uso sostenible de los recursos naturales [12], la investigación busca reducir emisiones contaminantes con el fin de mitigar el daño del medio ambiente.

## **1.5 Alcance**

La presente investigación se enfoca en determinar los parámetros de funcionamiento del sistema de inyección electrónica que intervienen en la emisión de

gases contaminantes con la finalidad de posteriormente modificarlos para poder reducir estas emisiones.

Este trabajo de investigación se llevará a cabo en un solo vehículo en específico, de tipo liviano el cual utilice un motor con combustible a gasolina. El software será seleccionado por la disponibilidad, costo, y compatibilidad de conexión con el vehículo, la evaluación de resultados será a través de pruebas de análisis de gases en condiciones estáticas, analizando porcentaje de Monóxido de Carbono (CO) y partículas por millón (ppm) de Hidrocarburos (HC) establecidos en la normativa vigente NTE INEN 2204:2017, en la ciudad de Ibarra específicamente en el taller de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Técnica del Norte, este laboratorio cuenta con los equipos necesarios para realizar las pruebas antes mencionadas.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO REFERENCIAL**

#### **2.2 Marco teórico**

##### **2.2.1 OBD II**

El desarrollo en la industria automotriz ha crecido de forma exponencial, con él la implementación de la unidad de control electrónica (ECU). Sin embargo era necesario desarrollar una herramienta de comunicación y verificación del funcionamiento del motor, esto dio origen a la implementación del protocolo OBD (On Board Diagnostic, por sus siglas en inglés), una interfaz de hardware estandarizada con el fin de proveer una forma de verificar el estado de los sensores relacionados con la regulación de emisiones, a la vez emite alertas de la presencia de fallas [13].

El OBD II es la evolución de OBD se desarrolló con la finalidad de monitorear el catalizador elemento que interviene en el control de emisiones de gases de combustión, se implementaron sensores de oxígeno, casualmente referidos como sonda lambda, y además se le asignó la función de enviar señales de alerta cuando algún elemento del sistema funcione de manera irregular, las cuales quedarán registradas en la memoria y podrán ser localizadas de una forma ágil con la ayuda del equipo de diagnóstico [14].

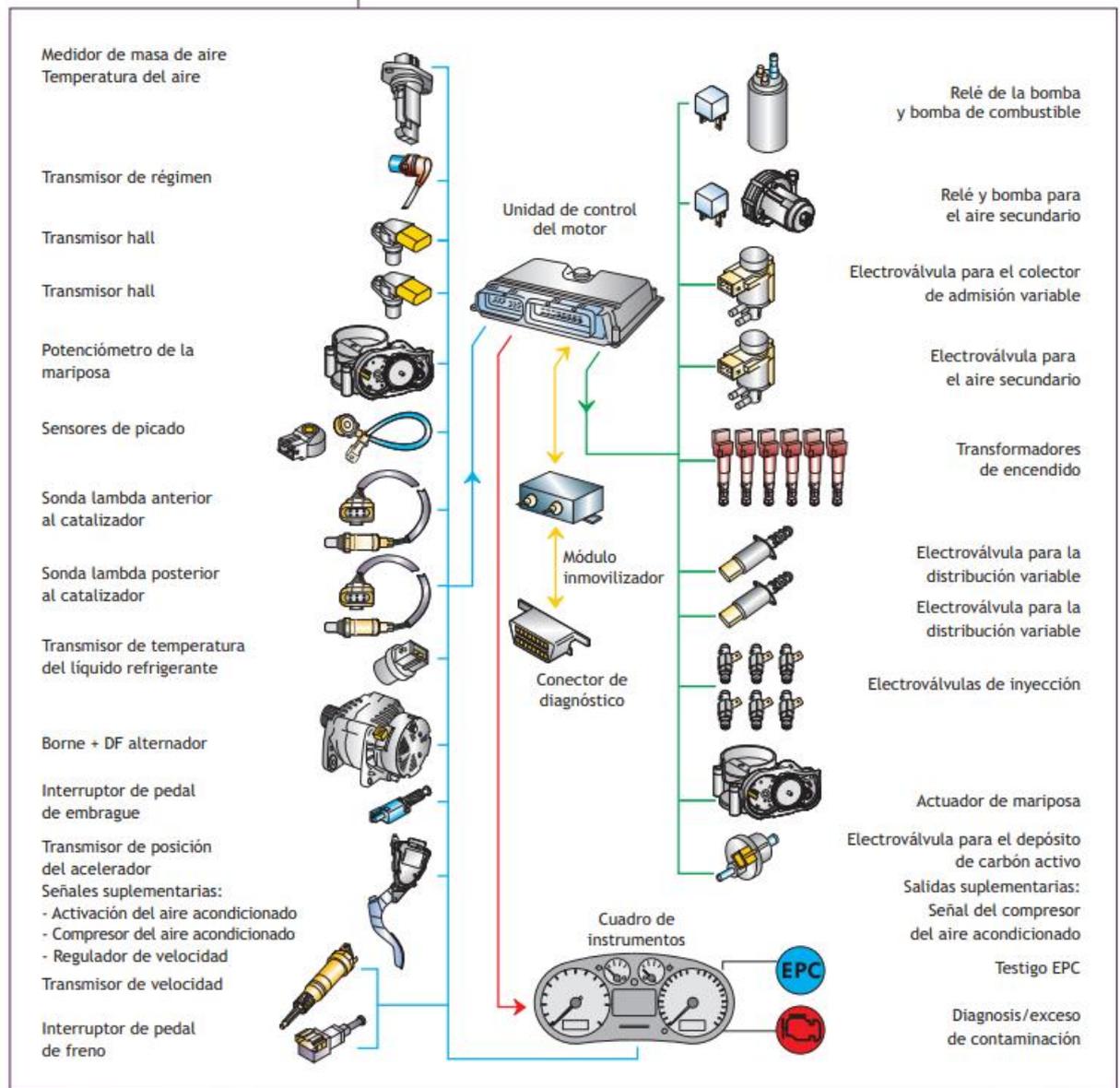
##### **2.2.2 Sistema de Inyección electrónica**

Los sistemas de inyección surgieron con la inyección mecánica. Después de esta aparecieron los llamados sistemas electromecánicos, que basaban su funcionamiento en una inyección mecánica asistida electrónicamente. Por último, aparecieron los sistemas 100% electrónicos [15].

En este tipo de sistemas presentan una gran cantidad de elementos para poder alcanzar un buen funcionamiento del motor, los cuales se clasifican en sensores y actuadores, los sensores permiten a la ECU la obtención de datos que serán analizados y a través de los actuadores ejecutar acciones que intervienen en la inyección y combustión de la mezcla aire y combustible.

**Figura 1**

*Esquema de sensores y actuadores del sistema de inyección electrónica*



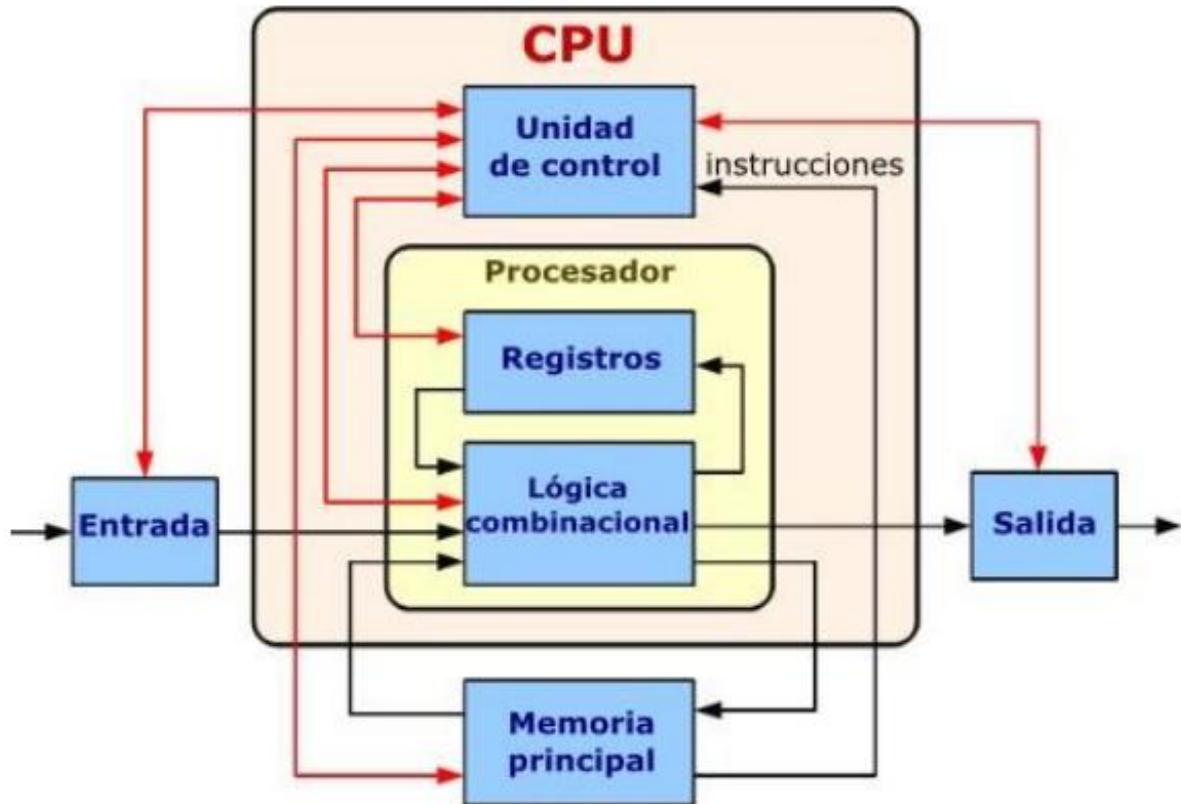
*Nota:* [15]

### 2.2.3 Unidad de control electrónico ECU

Se conoce por sus siglas en inglés de Engineer Control Unit (ECU) como un dispositivo electrónico conectado generalmente a una serie de sensores que suministran información y actuadores que ejecutan comandos. Esta unidad es responsable del control y gestión de los aspectos propios de la combustión interna del motor [16].

**Figura 2**

*Procesamiento de señales de la unidad de control*



*Nota:* Diagrama de los principales componentes de una ECU, y el proceso de comunicación entre cada uno de ellos para el procesamiento de señales [17].

Una unidad de control electrónica está hecha básicamente de hardware y software, el hardware está hecho de varios componentes electrónicos en una placa de circuito impreso (PCB). El componente más importante es un chip microcontrolador junto con una memoria ROM programable y borrable (EPROM) o un chip de memoria flash [17].

#### **2.2.4 Herramientas de programación de la ECU**

En la actualidad el uso de herramientas de programación de la ECU es de uso más cotidiano que en anteriores años, donde este tipo de herramientas eran utilizadas especialmente para vehículos de competiciones, hoy en día permiten enfocarse en mejorar ciertos parámetros de funcionamiento del motor. Como resultado tenemos optimización y eficiencia del consumo de combustible en uso normal y mayor potencia cuando se requiere, el procedimiento es aplicable en vehículos equipados con motores diésel y gasolina[18].

#### 2.2.4.1 Software HPtuners.

El Software HPtuners ajusta una multitud de parámetros, como chispas, combustible, límites de RPM, temperaturas y velocidades del ventilador, puntos de cambio y presiones de transmisión, control de válvula de escape, ajustes del velocímetro y muchos más [19].

#### **Figura 3**

*Dispositivo de interfaz HPtuners*



*Nota:* Permite la conexión del software HPtuners con la ECU a través de la entrada OBD II [19].

#### ***Vehículos compatibles con el software HPtuners.***

El software HPtuners presenta licencias específicas individuales para cada vehículo, además presenta características vinculadas a cada interfaz dependiendo del año y modelo, no existe límite en la cantidad de conexiones con vehículos que cumplan los requerimientos.

**Tabla 1**

*Lista de marcas de vehículos compatibles con el software HPTuners*

<i>Vehículos compatibles con el software HPTuners.</i>	
❖ Audi	❖ Jaguar/land rover transmission controllers
❖ Bobcat	❖ Jeep
❖ Brp (powersports)	❖ Land rover
❖ Buick	❖ Lincoln
❖ Cadillac	❖ Mazda
❖ Chevrolet	❖ Mercedes
❖ Chevrolet performance	❖ Mercury
❖ Chrysler	❖ Mopar performance
❖ Daewoo	❖ Nissan
❖ Dodge	❖ Oldsmobile
❖ Dodge/chrysler/jeep/ram transmission controllers	❖ Opel
❖ Ford	❖ Polaris (powersports)
❖ Ford additional supported controllers	❖ Pontiac
❖ Gm additional supported controllers	❖ Porsche
❖ Gmc	❖ Ram
❖ Holden	❖ Saab
❖ Honda (powersports)	❖ Saturn
❖ Hummer	❖ Seat
❖ Hyundai	❖ Škoda
❖ Indian motorcycle (powersports)	❖ Subaru
❖ Infiniti	❖ Suzuki
❖ International	❖ Toyota
❖ Isuzu	❖ Vauxhall
❖ Jaguar	❖ Volkswagen

*Nota:[19]*

### **2.2.5 Análisis de Gases**

El Analizador de Gases de Escape Automotrices es un instrumento muy útil para cuantificar la emisión de gases tóxicos provocados por la combustión que ocurre dentro del motor. Además de determinar si dicha emisión de gases está fuera de los rangos normales, también el análisis de estos nos ayuda a obtener datos precisos sobre el funcionamiento del motor para determinar si es necesario llevar a cabo pruebas más extensas.

Existen diversos analizadores de gases, mismos que miden de 1 a 5 gases. Actualmente solo están disponibles analizadores de 5 gases, debido a los nuevos requerimientos por la normativa internacional BAR-97. Los gases para cuantificar son oxígeno (O<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y algunas mezclas

de diversos gases como óxidos de nitrógeno, monóxido (NO) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), representados por la suma de ambos como “NO<sub>x</sub>”, donde NO<sub>x</sub>=NO+NO<sub>2</sub>. Asimismo, se cuantificarán a la familia de “hidrocarburos aromáticos”, representados principalmente por hexano [20].

**Figura 4**

*Analizador de gases.*



*Nota:*[21].

**2.2.6 Normativa NTE INEN 2204 Segunda revisión 2017-01**

La normativa ecuatoriana NTE INEN 2204 Segunda revisión 2017-01 se encuentra vigente para el control de emisiones de gases contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina establece los límites máximos permitidos, los cuales se realizan cumpliendo los siguientes parámetros: en marcha mínima o ralentí es decir se realiza una prueba estática, el motor debe encontrarse a temperatura normal de operación y esta medición de la realiza sobre el nivel del mar[22]. La Agencia Nacional de Tránsito presenta el Anexo 1 para los centros de revisión técnica vehicular[23], dentro de sus lineamientos establece diferentes rangos en los porcentajes de emisiones, en el caso de la ciudad de Ibarra se encuentra a 2225 metros sobre el nivel del mar, por lo tanto, existe una variación en los valores máximos permitidos de partículas por millón de hidrocarburos no quemados.

En la Figura 5 se presenta una tabla donde expone el porcentaje de monóxido de carbono (CO) y partículas por millón de hidrocarburos (HC) especificando el nivel máximo admisible dependiendo del año del vehículo.

**Figura 5**

*Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática).*

Año modelo	% CO*		ppm HC*	
	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1 000	1 200

\* Volumen  
\*\*Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm).

Nota:[24].

## 2.3 Marco legal

### 2.3.1 Constitución de la República del Ecuador

En los artículos 14 y 15 de la Constitución de la República del Ecuador expresa que todas las personas tienen derecho a vivir en un ambiente sano, se busca el cuidado y preservación del medio ambiente, además se promueve el uso de tecnologías que fortalezcan estos principios [25]. A través de esta investigación se busca contribuir con las políticas existentes en el país sobre el cuidado del medio ambiente, la reducción de las emisiones de gases contaminantes emitidas por los vehículos contribuye de forma positiva el fortalecimiento de estos objetivos.

### 2.3.2 Código Orgánico del Medio Ambiente

El Código Orgánico del Medio Ambiente es un complemento de la Constitución de la República del Ecuador, en su artículo 1 presenta como objetivo regular, fortalecer y contribuir con lo establecido en la Constitución en su Art. 14 y leyes a fines que buscan el cuidado del medio ambiente [26].

### 2.3.3 Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025

En las políticas establecidas por el gobierno actual dentro del Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025, en el Objetivo 11 describe un modelo sostenible que establece un equilibrio del modelo económico, la sociedad y el medio ambiente, se promueve la protección y conservación del medio ambiente a través de diferentes lineamientos, por ejemplo: La educación para el cambio de estilos de vida y Acciones para mitigar afectaciones al ambiente [12].

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Descripción del área de estudio / Descripción del grupo de estudio**

La presente investigación se llevó a cabo en un solo vehículo en específico. En el cual se modificó parámetros de funcionamiento del sistema de inyección electrónica en la ECU y fue evaluado a través de diferentes pruebas de análisis de gases en la ciudad de Ibarra específicamente en el taller de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Técnica del Norte, este laboratorio cuenta con los equipos necesarios para realizar las pruebas.

#### **3.2 Enfoque y tipo de investigación**

La presente investigación muestra un enfoque combinado cualitativo y cuantitativo e ingenieril, se trabajó con valores cuantitativos con la finalidad de cambiar cualidades y comportamientos del motor, además un análisis ingenieril permitió identificar que valores fueron necesarios modificar para obtener resultados positivos en la reducción de emisiones de gases contaminantes.

El tipo de investigación para el presente trabajo fue aplicada, se enfocó en dar solución a un problema, se buscó reducir las emisiones de gases contaminantes de un vehículo, también fue correlacional al investigar los parámetros de funcionamiento que se puede modificar en el sistema de inyección electrónica para poder reducir emisiones, todo esto es posible partiendo de una investigación documental que permitió establecer las bases de conocimiento necesario para iniciar este trabajo investigativo.

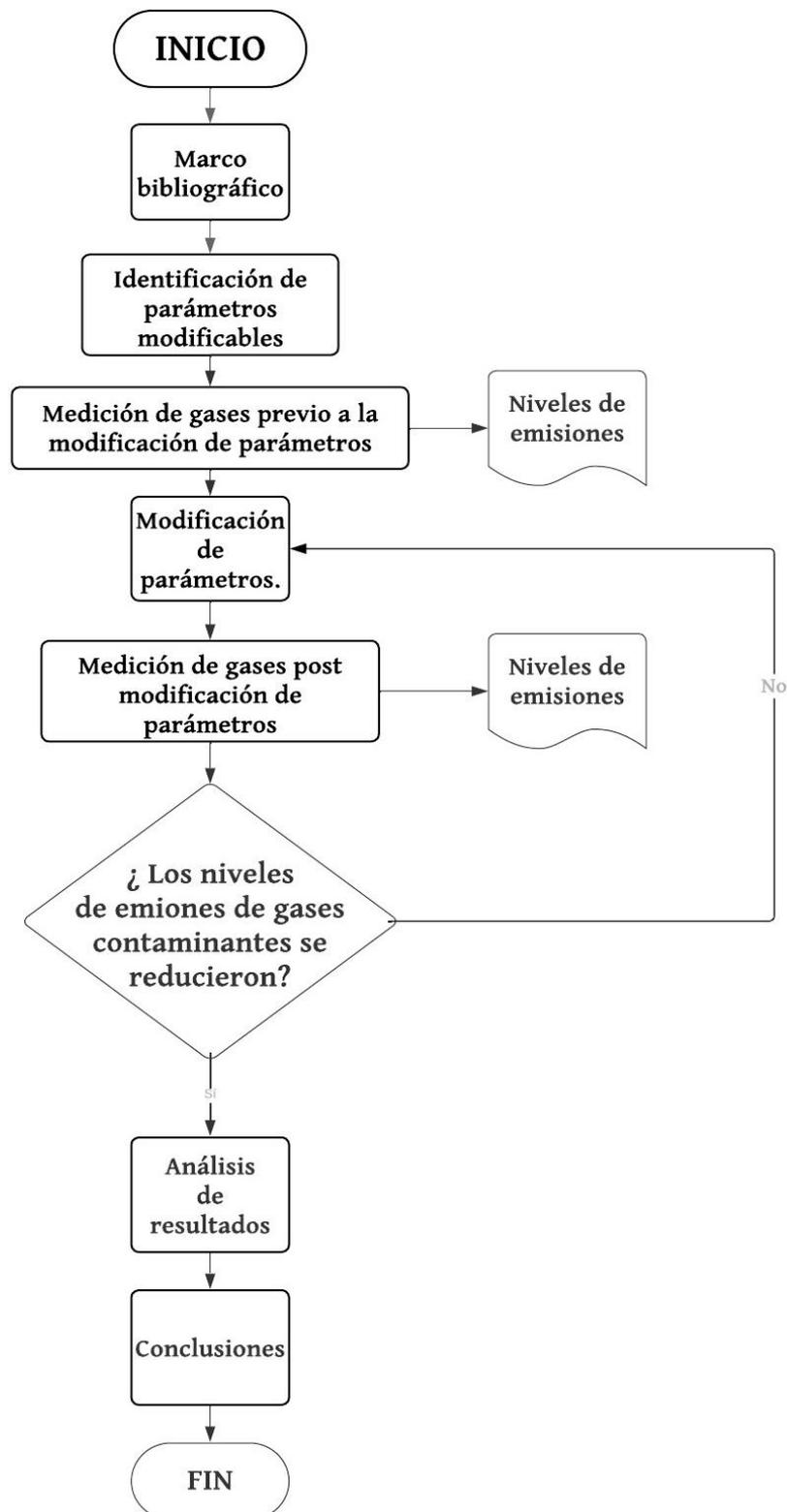
La investigación experimental permitió concluir esta investigación cuando se realizó la modificación de parámetros de funcionamiento y se obtuvo una reducción en la cantidad de emisiones contaminantes.

### 3.3 Procedimiento de investigación

#### 3.3.1 Diagrama de flujo de metodología.

Figura 6

Diagrama de flujo de metodología



### 3.3.2 Fase 1: Selección de vehículo.

**Actividad 1: Seleccionar vehículo;** El vehículo seleccionado para realizar este trabajo de investigación es el Chevrolet Tahoe 2001 es una camioneta utilitaria deportiva (SUV), producida por Chevrolet. Equipada con un motor V8 de 5.3 litros con transmisión automática de 4 velocidades. Para la selección de este vehículo se consideró principalmente aspectos como disponibilidad, año de fabricación y cilindrada.

#### *Figura 7*

*Chevrolet Tahoe 2001*



*Nota:[27]*

### 3.3.3 Fase 2: Identificación de parámetros modificables.

**Actividad 1: Seleccionar el Software;** Para seleccionar el mejor software para programar la ECU de un vehículo, se consideró la compatibilidad con el modelo y marca del vehículo, las funcionalidades necesarias para la modificación, la facilidad de uso, el soporte técnico, la calidad y precisión del software, la disponibilidad de actualizaciones y soporte continuo, el costo y valor en relación con los beneficios ofrecidos, todo esto con el fin de garantizar un resultado seguro y efectivo en la modificación de los diferentes parámetros de la ECU.

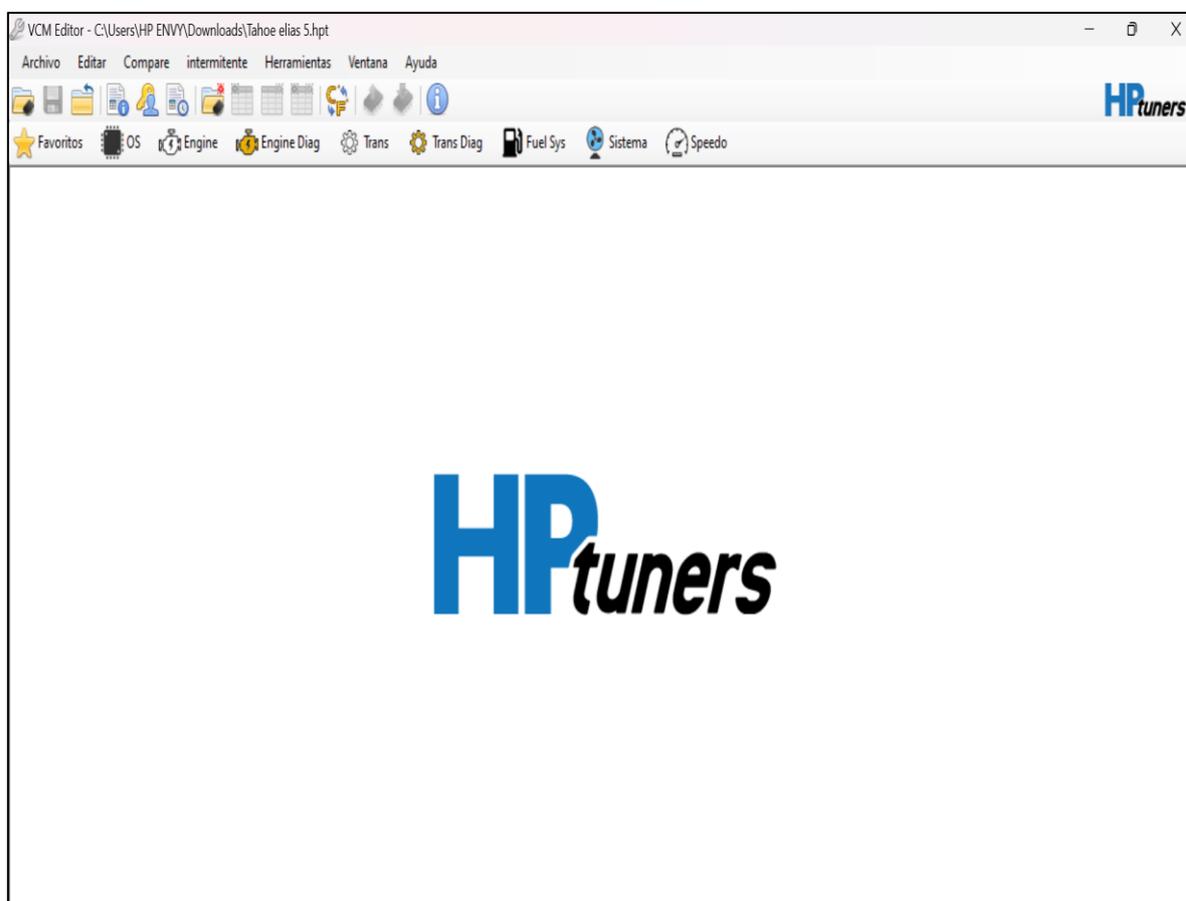
El software seleccionado es el HP Tuners, dicha empresa diseña y fabrica herramientas de software y hardware para diagnóstico, escaneo, registro, calibración y adquisición de datos de vehículos. El uso autorizado de tales herramientas es para que un vehículo de motor cumpla con las emisiones y/o para mantener el cumplimiento de las emisiones, así como para su uso en competencias y otros vehículos exentos. HP Tuners no crea ni proporciona ajustes ni calibraciones prefabricadas.

**Actividad 2: Conocer el funcionamiento del Software;** el software HPtuners es una herramienta que permite realizar el diagnóstico y modificación de parámetros de la ECU, con ayuda de esta interfaz se logra establecer un puente de comunicación a través de la conexión OBD-II.

**Interfaz Software HPtuners.-** En la *Figura 8* presenta la pantalla de inicio y muestra la opciones de trabajo como son: Favoritos, Sistema operativo (OS), Engine, Engine Diag, Trans, Trans Diag, Fuel Sys, Sistema y Speedo.

### Figura 8

*Interfaz Software HPtuners*



*Nota:*[28]

**Favoritos.-** La pestaña favoritos permite abrir una ventana donde se agrega accesos rápidos a otras pestañas, proyectos, archivos, opciones de modificación, etc.

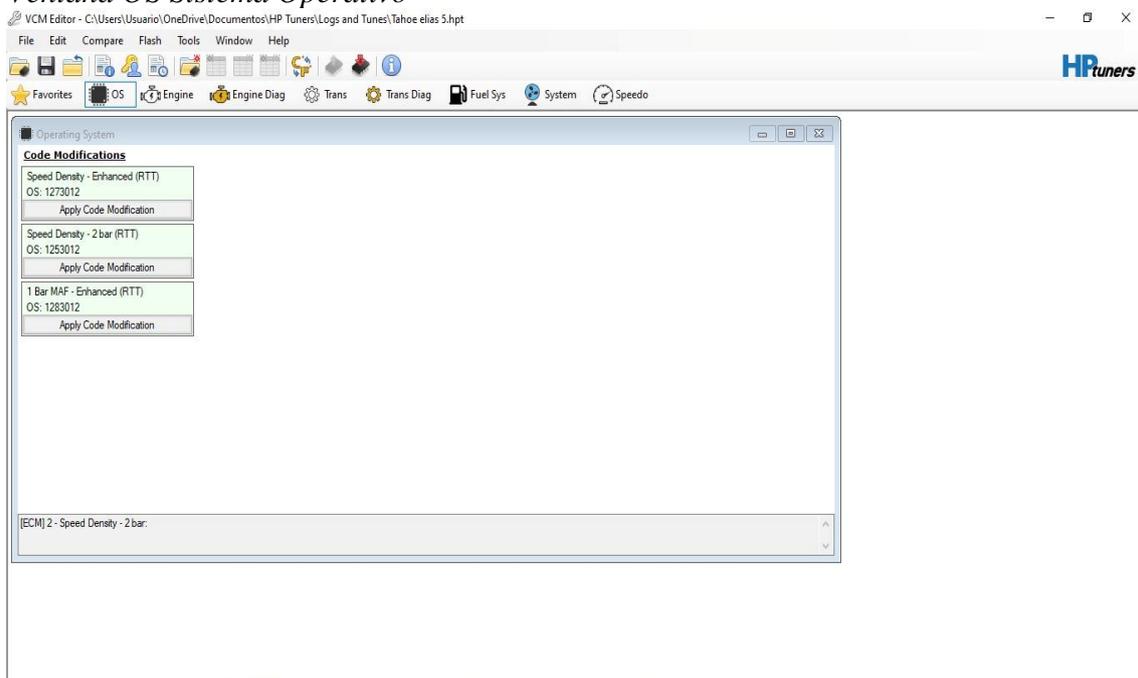
**Figura 9**  
*Ventana Favoritos*



*Nota:*[28]

**OS Sistema Operativo.** - En esta ventana muestra el código principal de funcionamiento de la ECU y la estrategia que utiliza para trabajar.

**Figura 10**  
*Ventana OS Sistema Operativo*



*Nota:*[28]

**Engine.-** Dentro la ventana motor presentan diferentes opciones las cuales son: General, Idle, Airflow, Exhaust, Fuel, Spark, Torque Model, Torque Managem, además cada una presenta diferentes subsecciones que permiten verificar o modificar ciertos parámetros característicos de cada vehículo.

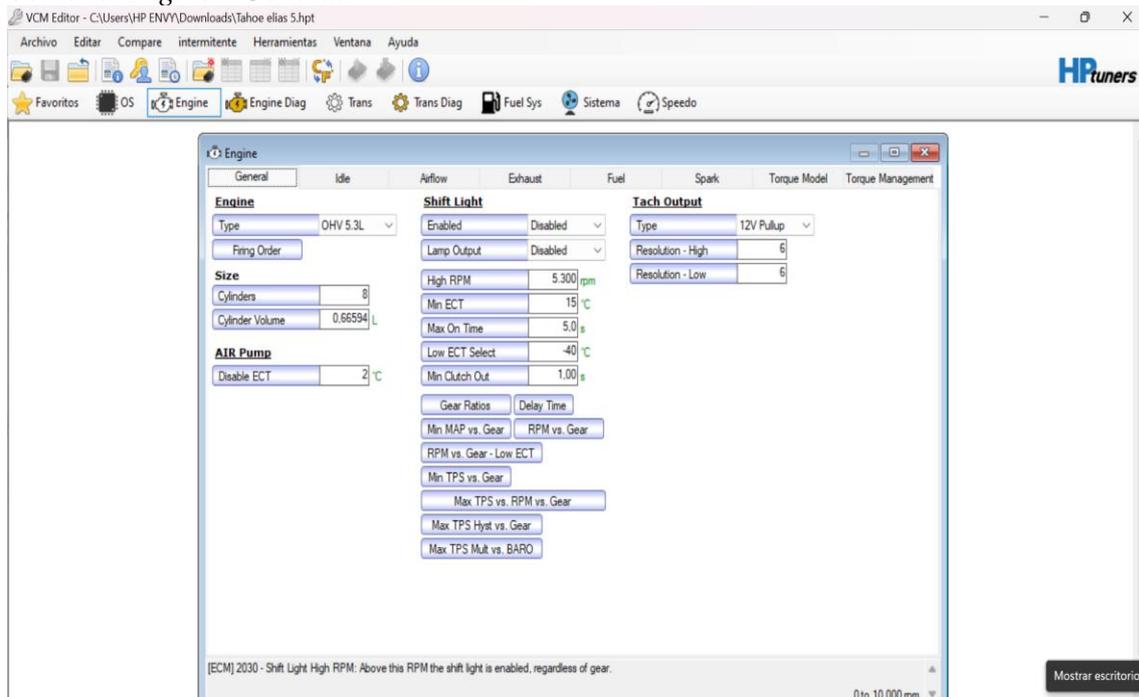
**Figura 11**  
*Ventana Engine*



Nota:[28]

**Engine - General.** - Engine presenta varias opciones iniciando por general, en esta ventana indica diferentes características del motor por ejemplo, tipo de motor, orden de encendido, número de cilindros, volumen por cilindro, entre otros. También presenta los cambios de luces en el tablero dependiendo del trabajo del motor en función de RPM, marcha, etc. Y al finalizar el tipo de sistema de tacómetro instalado.

**Figura 12**  
*Ventana Engine - General.*



Nota:[28]

**Engine - Idle.** - En esta ventana presenta características de funcionamiento del motor en estado de inactividad haciendo referencia al ralentí, todo esto en función de RPM y flujo de aire.

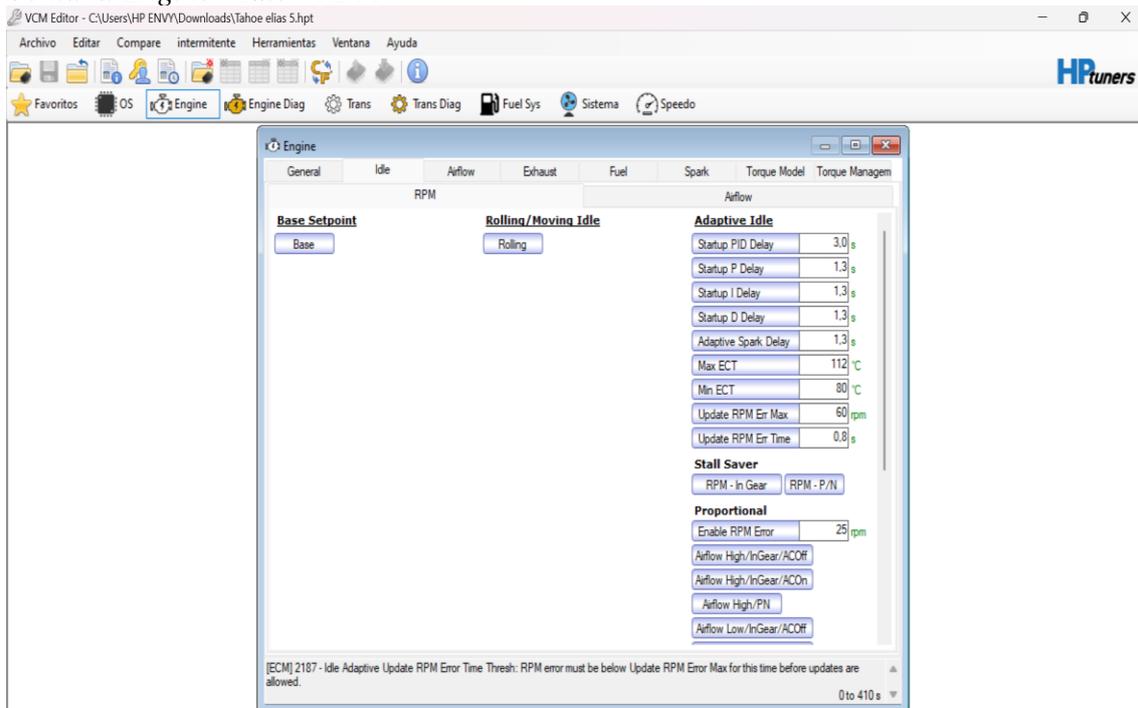
**Figura 13**  
*Ventana Engine - Idle*



Nota:[28]

**Engine - Idle - RPM.**- En esta sección presenta parámetros relacionados con el ralentí del motor, incluyendo ajustes adaptativos, tiempos de retardo y valores de temperatura. Hay secciones para el ralentí base o en movimiento. También se muestran valores numéricos específicos para cada parámetro.

**Figura 14**  
*Ventana Engine - Idle - RPM*

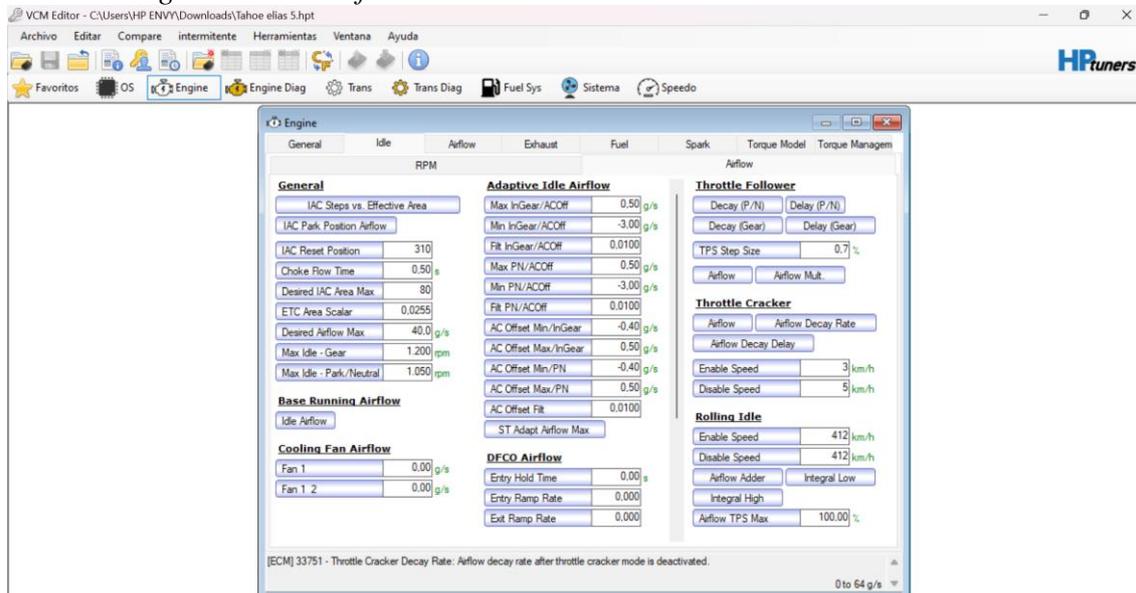


Nota:[28]

**Engine - Idle - Airflow.-** En esta parte se muestra varias pestañas con parámetros relacionados con el control del ralentí en función del flujo de aire, la posición del actuador de ralentí (IAC), la respuesta del acelerador (Throttle Follower y Throttle Cracker), y el funcionamiento del ventilador de refrigeración, entre otros.

**Figura 15**

**Ventana Engine - Idle - Airflow**

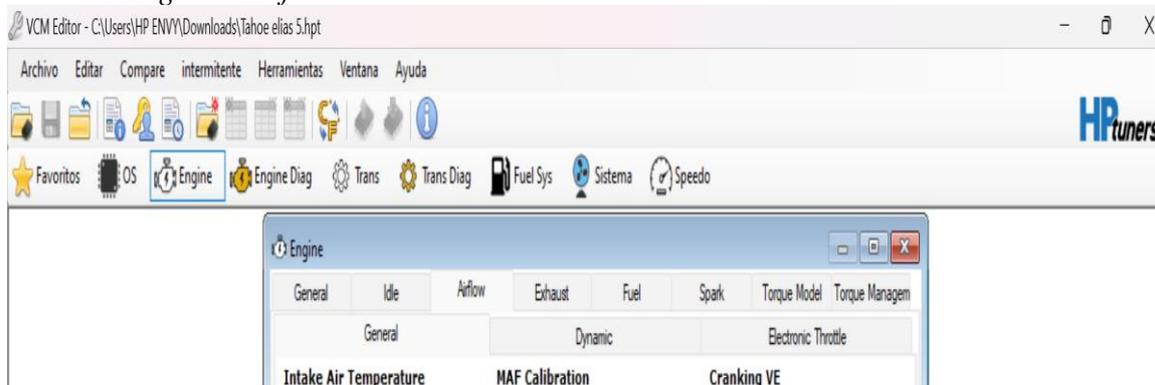


Nota:[28]

**Engine - Airflow.-** En esta pestaña presenta de forma más detallada los parámetros relacionados con el flujo de aire, de forma general, dinámico y su relación con el acelerador electrónico.

**Figura 16**

**Ventana Engine - Airflow**

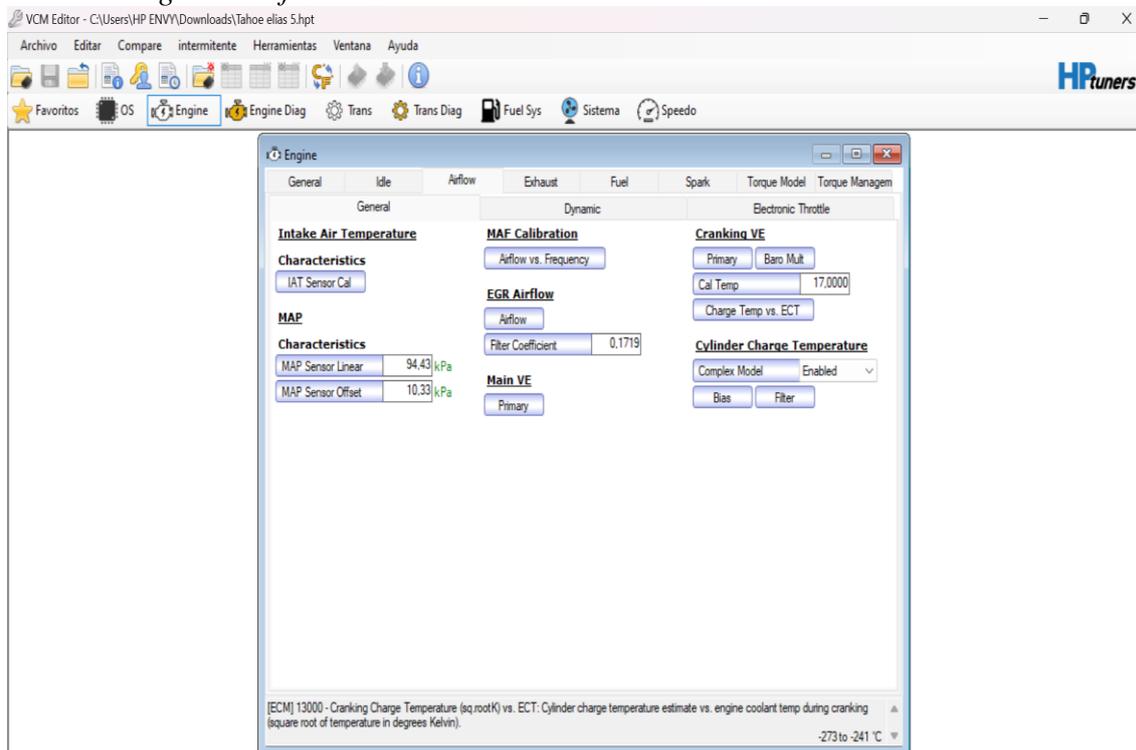


Nota:[28]

**Engine - Airflow - General.** - Aquí se muestra parámetros de forma general los cuales son utilizados para calcular el flujo de aire, a través de los sensores IAT, MAP y MAF.

**Figura 17**

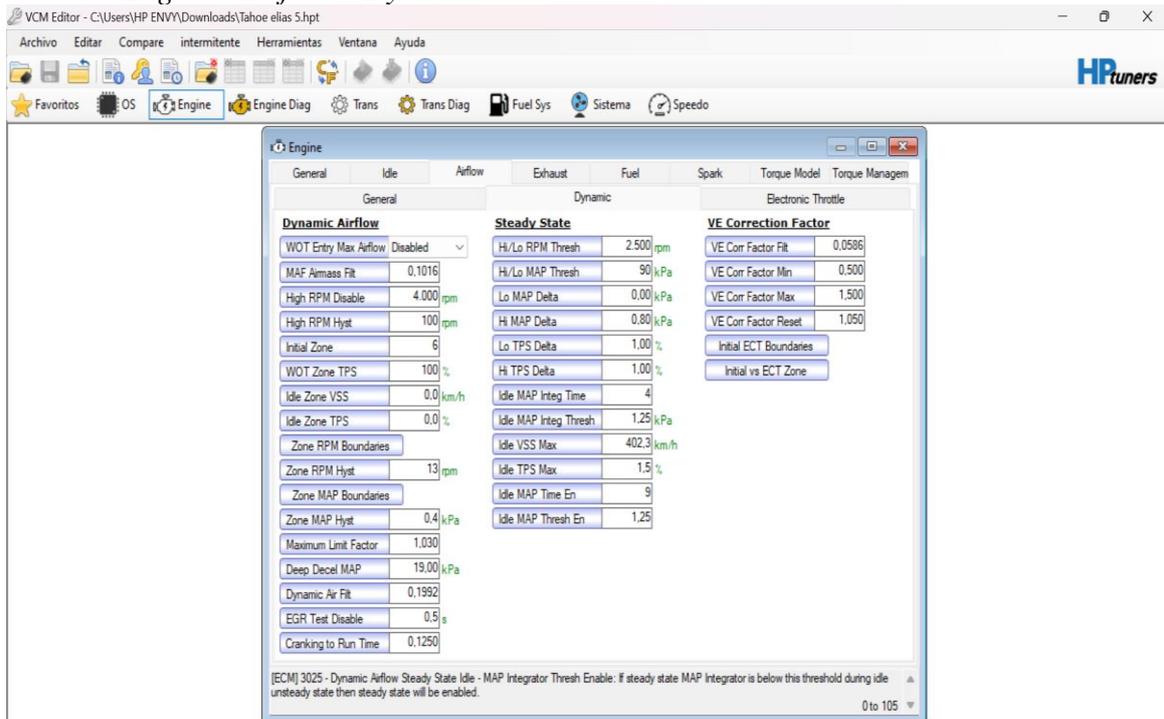
*Ventana Engine - Airflow - General*



*Nota:*[28]

**Engine - Airflow - Dynamic.**- Dentro de esta ventana se muestran tres secciones principales: "Dynamic Airflow" (flujo de aire dinámico), "Steady State" (estado estable), con diversos parámetros configurables relacionados con el flujo de aire, la presión del colector de admisión (MAP), la posición del acelerador (TPS), la velocidad del vehículo (VSS), y otros. Y en la tercera sección "VE Correction Factor" (factor de corrección VE) para ajustes del rendimiento del motor.

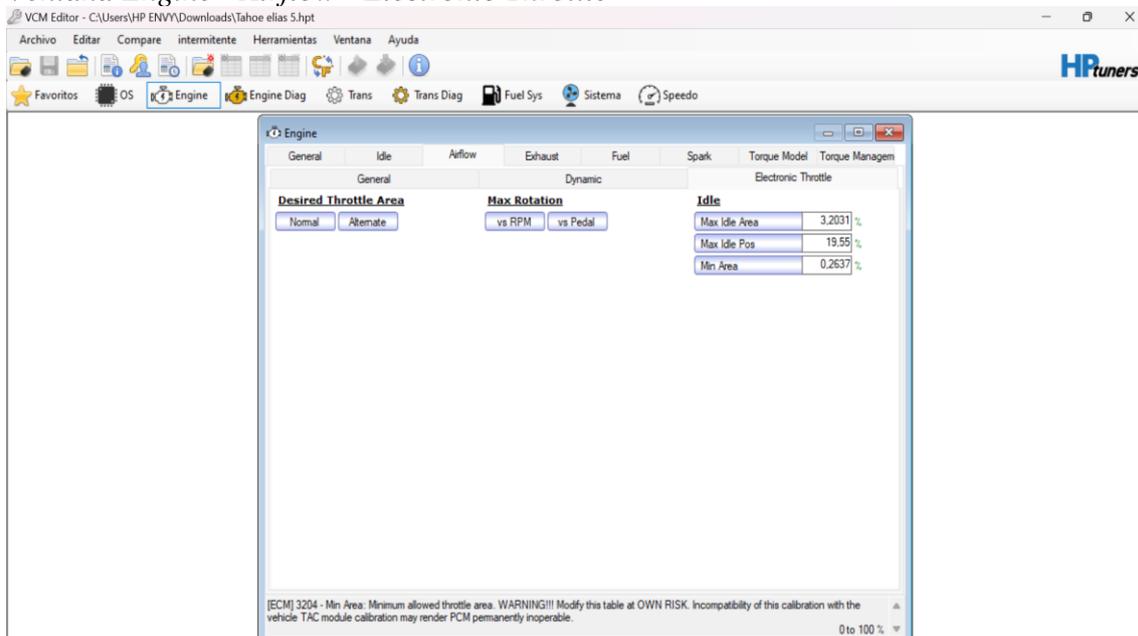
**Figura 18**  
**Ventana Engine - Airflow - Dynamic**



Nota:[28]

**Engine - Airflow - Electronic Throttle.-** Presenta la calibración de los parámetros de funcionamiento del acelerador electrónico en función de ciertos criterios ya establecidos.

**Figura 19**  
**Ventana Engine - Airflow - Electronic Throttle**

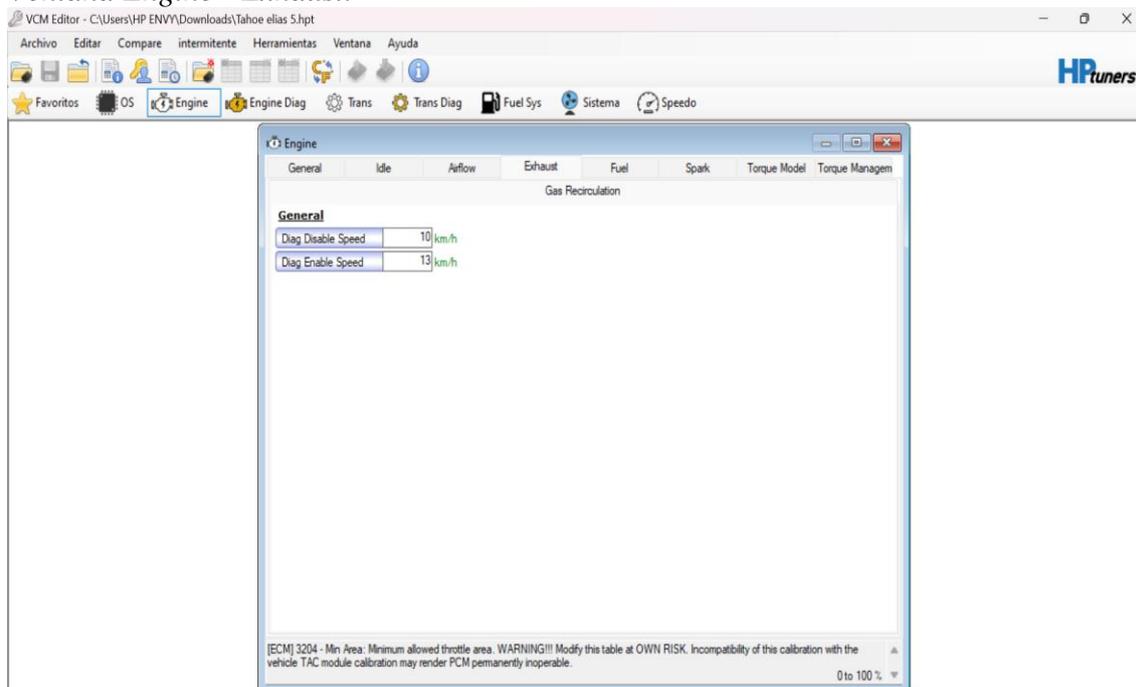


Nota:[28]

**Engine - Exhaust.** - En la pestaña escape hace referencia a los parámetros utilizados para el diagnóstico de la válvula EGR.

**Figura 20**

*Ventana Engine - Exhaust.*

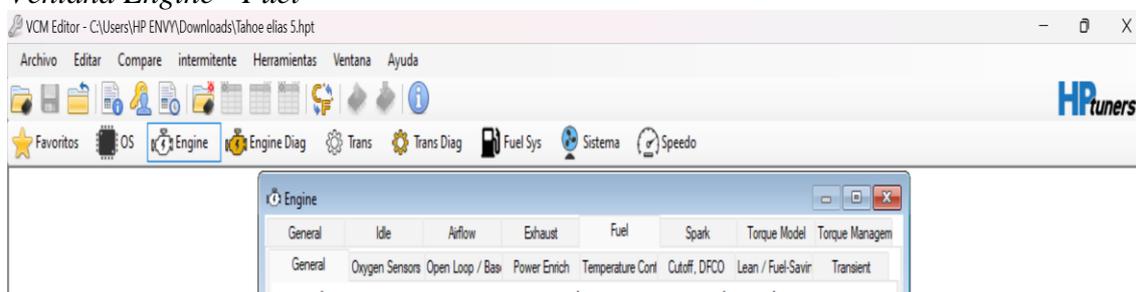


*Nota:[28]*

**Engine - Fuel.**- Permite ajustar la mezcla aire-combustible, los inyectores, el corte de combustible y el enriquecimiento en carga, optimizando potencia, eficiencia y emisiones.

**Figura 21**

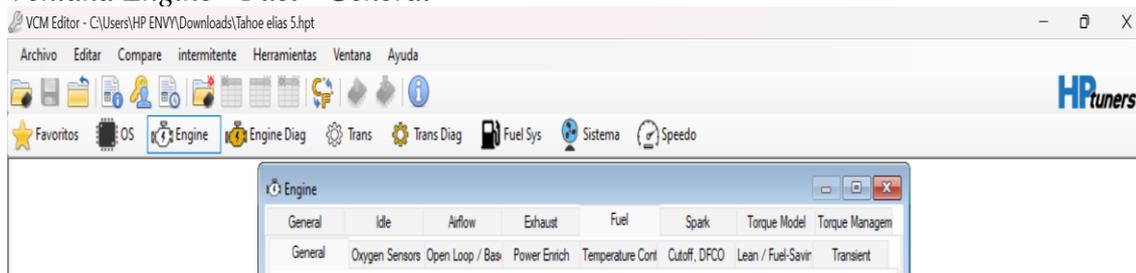
*Ventana Engine - Fuel*



*Nota:[28]*

**Engine - Fuel - General.**- Esta ventana en VCM Editor muestra los ajustes generales de combustible, incluyendo la mezcla aire-combustible (Stoich AFR), control de inyectores, correcciones de pulsos, límites de inyección y parámetros para el arranque en frío. Estos valores afectan el rendimiento, eficiencia y respuesta del motor.

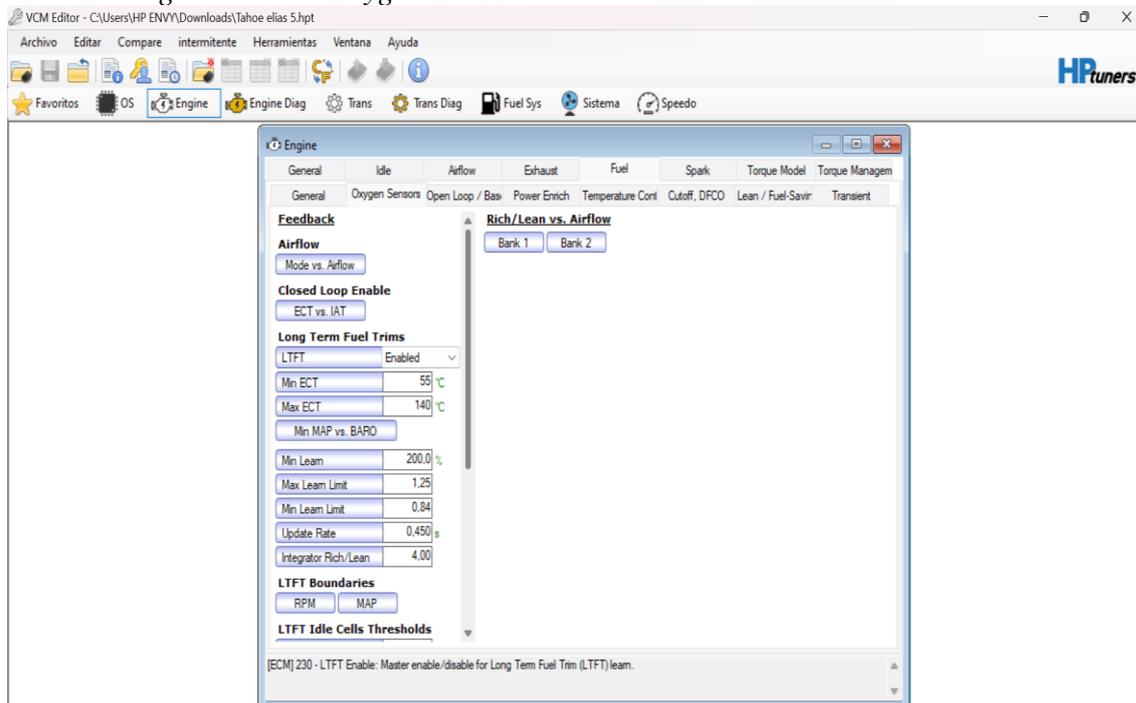
**Figura 22**  
**Ventana Engine - Fuel - General**



Nota:[28]

**Engine - Fuel - Oxygen Sensor.-** Aquí se configuran los sensores de oxígeno y la forma en que el motor ajusta la mezcla aire-combustible en tiempo real para mejorar el rendimiento y la eficiencia.

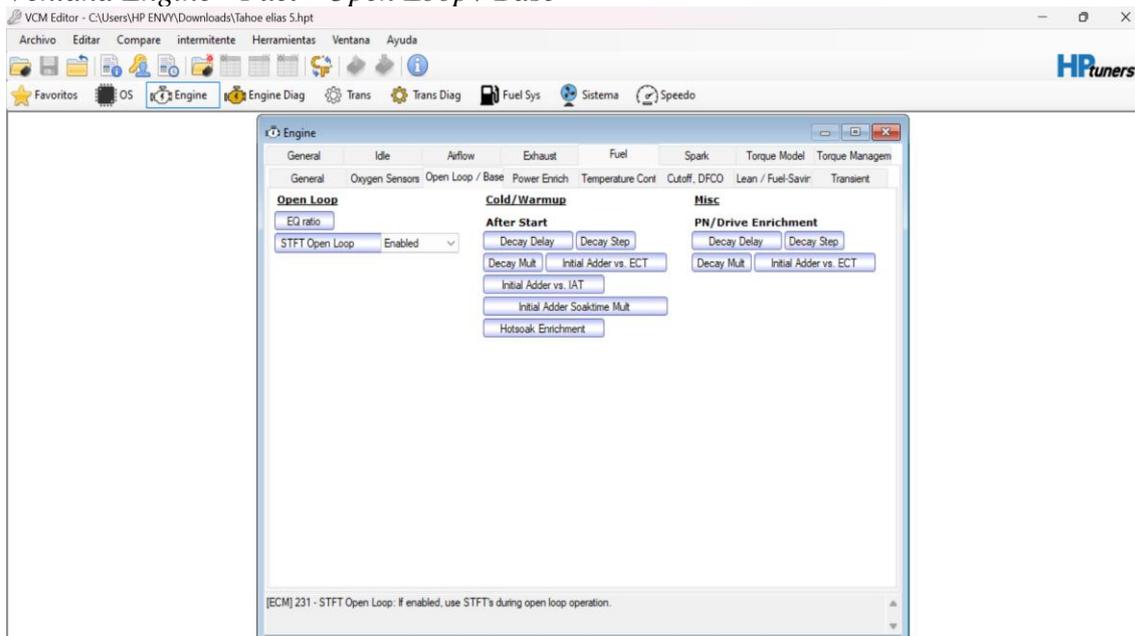
**Figura 23**  
**Ventana Engine - Fuel - Oxygen Sensor**



Nota:[28]

**Engine - Fuel - Open Loop / Base.-** Esta ventana ajusta el modo Open Loop, regulando la mezcla de combustible sin la retroalimentación de los sensores de oxígeno. Además, permite configurar el enriquecimiento de combustible tras el arranque y en determinadas condiciones de manejo.

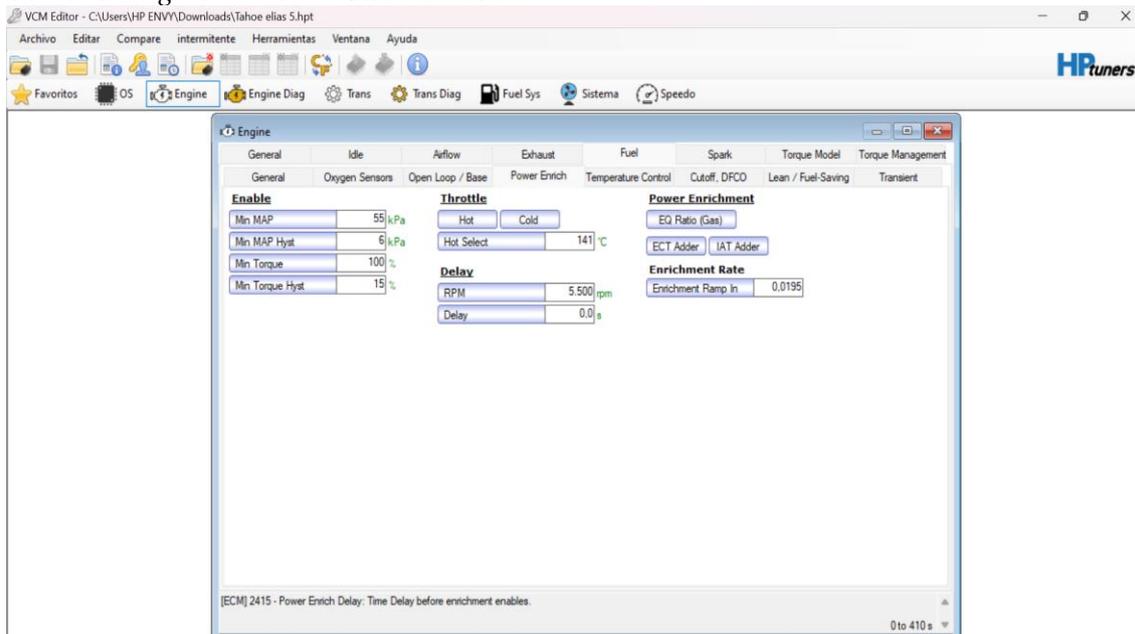
**Figura 24**  
**Ventana Engine - Fuel - Open Loop / Base**



Nota:[28]

**Engine - Fuel - Power Enrich.**- Controla el suministro adicional de combustible en alta carga para optimizar el rendimiento y la seguridad del motor. También permite definir su activación según presión, torque, temperatura y retardo.

**Figura 25**  
**Ventana Engine - Fuel - Power Enrich**

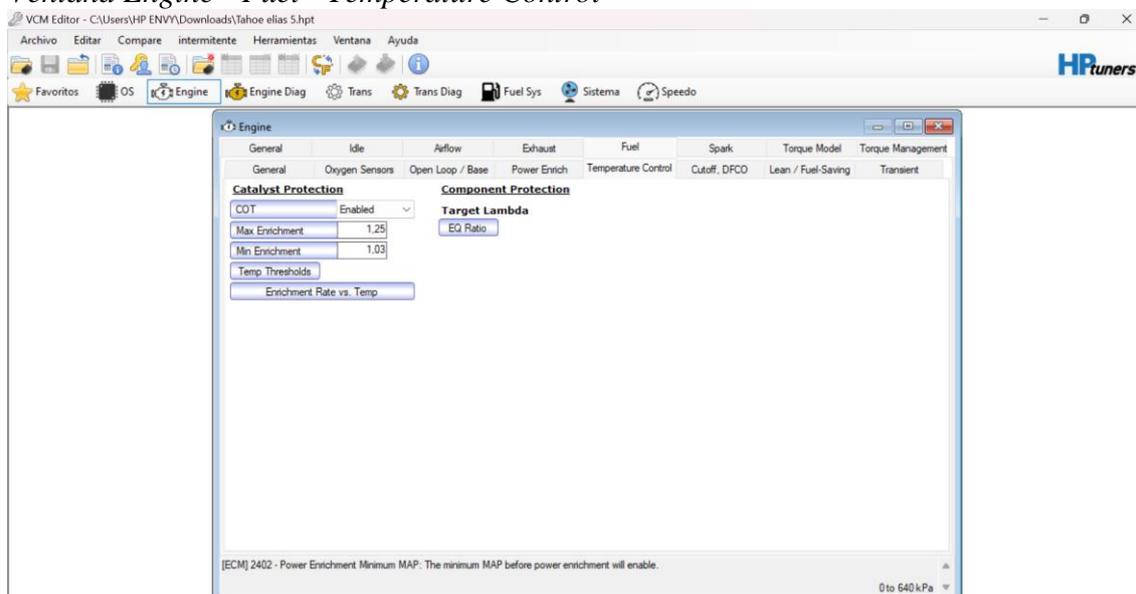


Nota:[28]

**Engine - Fuel - Temperature Control.-** Gestiona la protección del catalizador y otros componentes, ajustando el enriquecimiento de combustible en función de la temperatura para prevenir sobrecalentamiento y posibles daños.

**Figura 26**

*Ventana Engine - Fuel - Temperature Control*

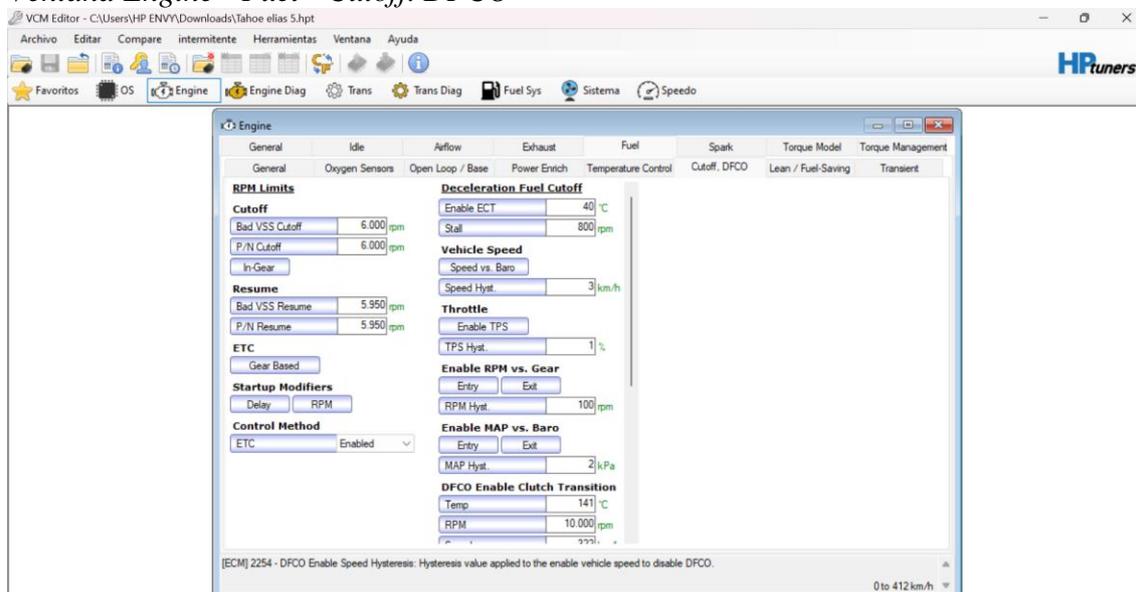


Nota:[28]

**Engine - Fuel - Cutoff. DFCO.-** Esta sección configura los límites de RPM, el corte de combustible en desaceleración (DFCO) y la transición del embrague. Regula el corte de combustible según la temperatura, la velocidad, la presión y la posición del acelerador.

**Figura 27**

*Ventana Engine - Fuel - Cutoff. DFCO*

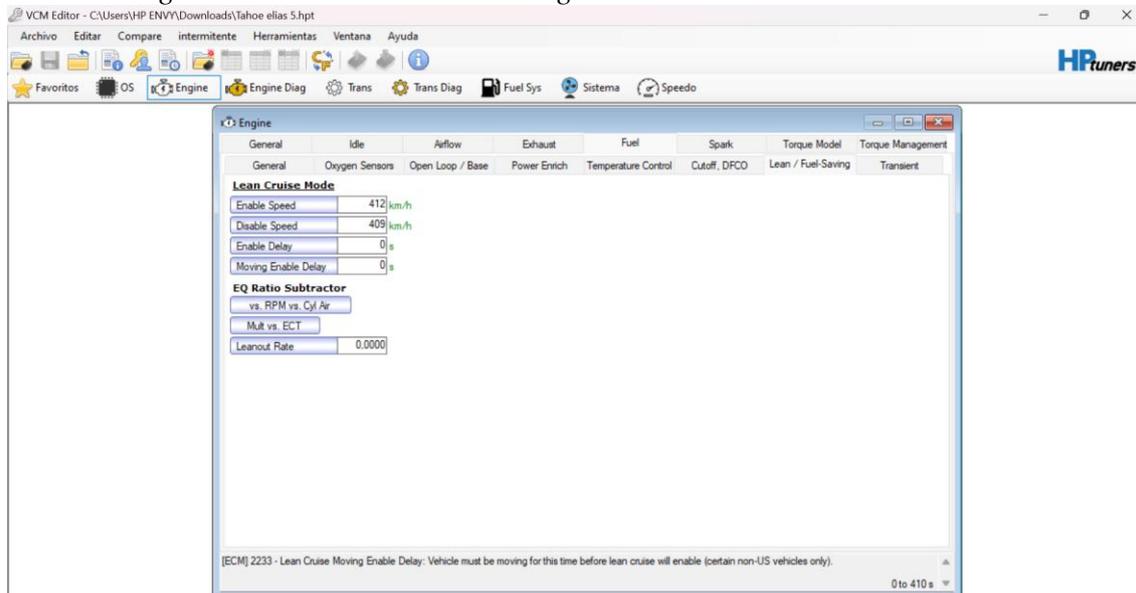


Nota:[28]

**Engine - Fuel - Lean / Fuel-Saving.-** Ajusta el modo Lean Cruise para mejorar la eficiencia de combustible en trayectos constantes. Permite establecer los parámetros de activación y desactivación, los tiempos de respuesta y la relación de mezcla según las RPM y la temperatura del motor.

**Figura 28**

*Ventana Engine - Fuel - Lean / Fuel-Saving*

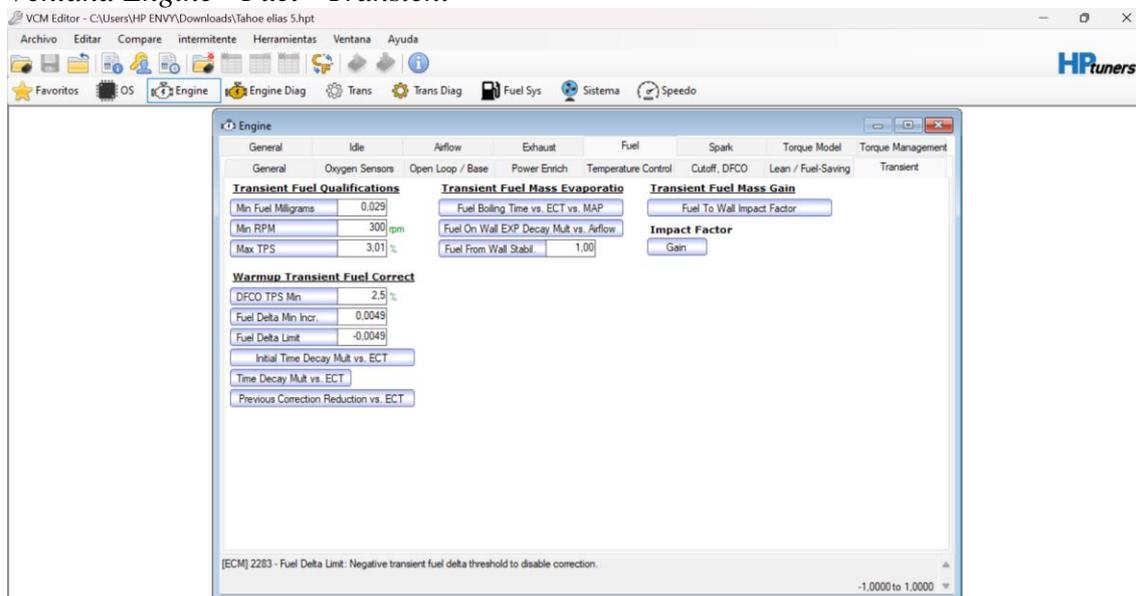


Nota:[28]

**Engine - Fuel - Transient.-** Estos ajustes en combustible transitorio optimizan la respuesta del motor a cambios rápidos en aceleración, controlando la evaporación, adherencia y correcciones de combustible para mejorar suavidad y rendimiento.

**Figura 29**

*Ventana Engine - Fuel - Transient*

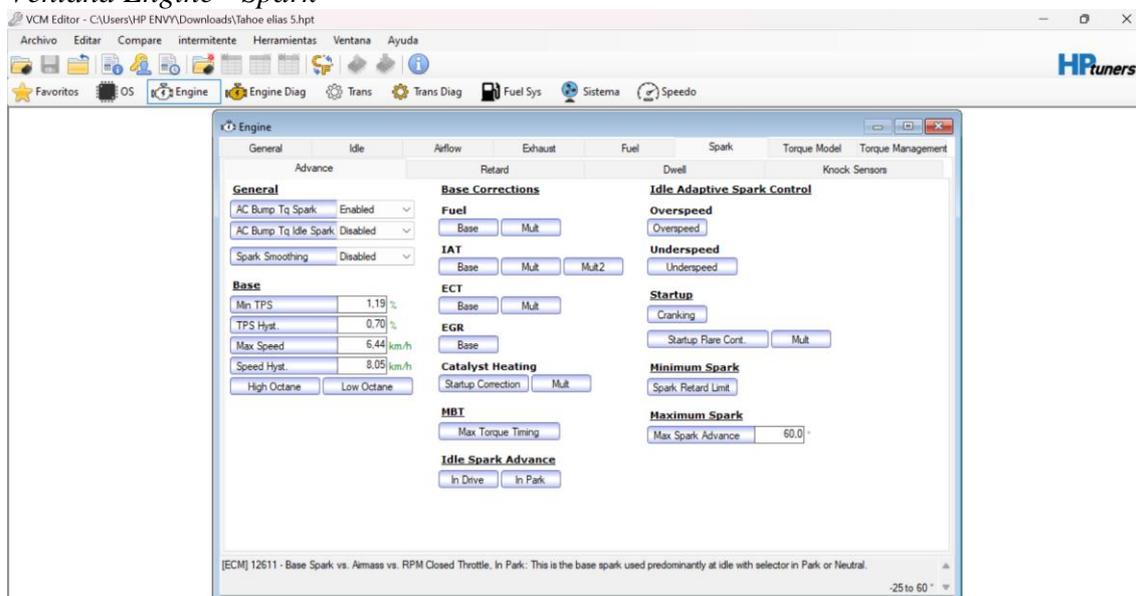


Nota:[28]

**Engine - Spark.**- Permite ajustar parámetros relacionados con el avance y retraso de la ignición, así como la duración del pulso de la chispa (Dwell) y la respuesta de los sensores de detonación (Knock Sensors).

**Figura 30**

*Ventana Engine - Spark*

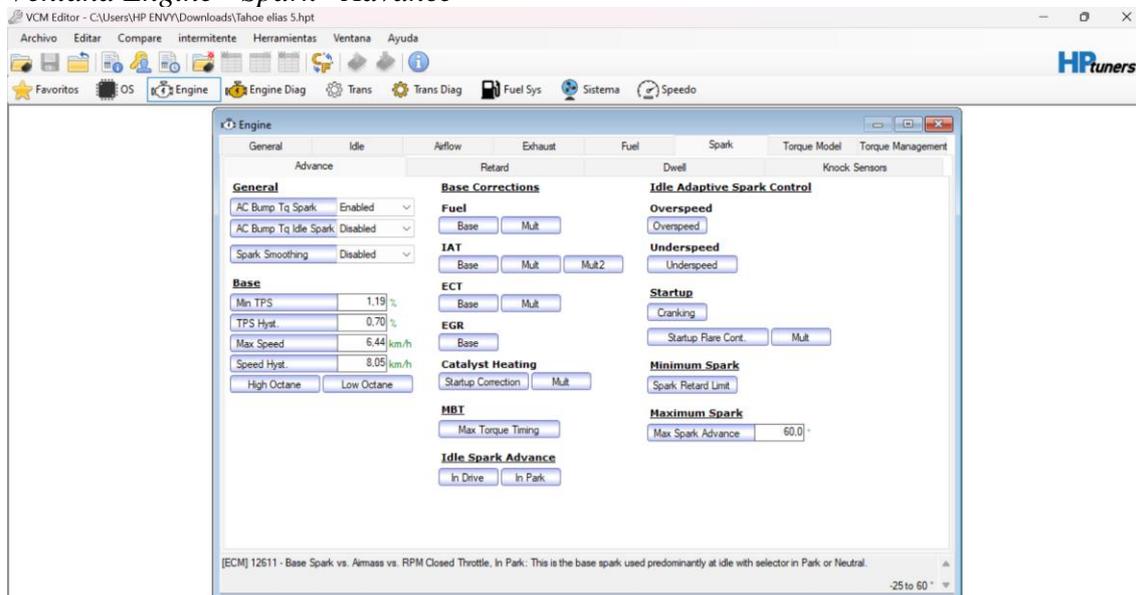


*Nota:*[28]

**Engine - Spark - Advance .**- Esta configuración de avance de encendido mejora la respuesta del motor ajustando las correcciones de chispa, el control adaptativo en ralentí y los límites de avance y retardo. Con ello, se optimizan la estabilidad, la eficiencia y el rendimiento en diversas condiciones de carga y velocidad.

**Figura 31**

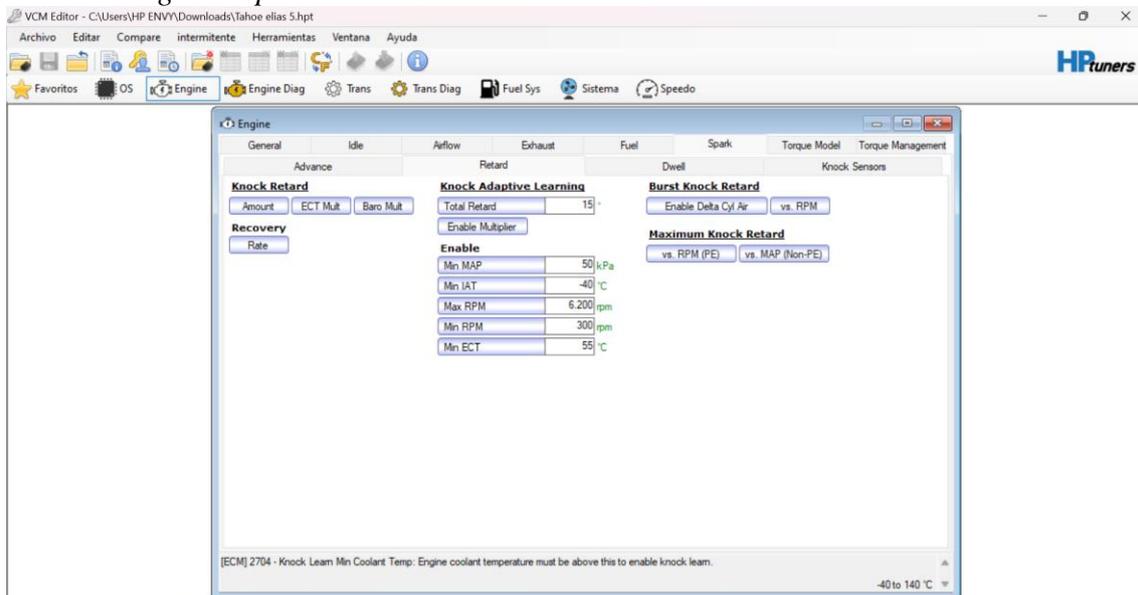
*Ventana Engine - Spark - Advance*



*Nota:*[28]

**Engine - Spark - Retard** .- Aquí se configuran parámetros relacionados con el Knock Retard (Retardo por detonación) y su adaptación en función de diferentes condiciones del motor.

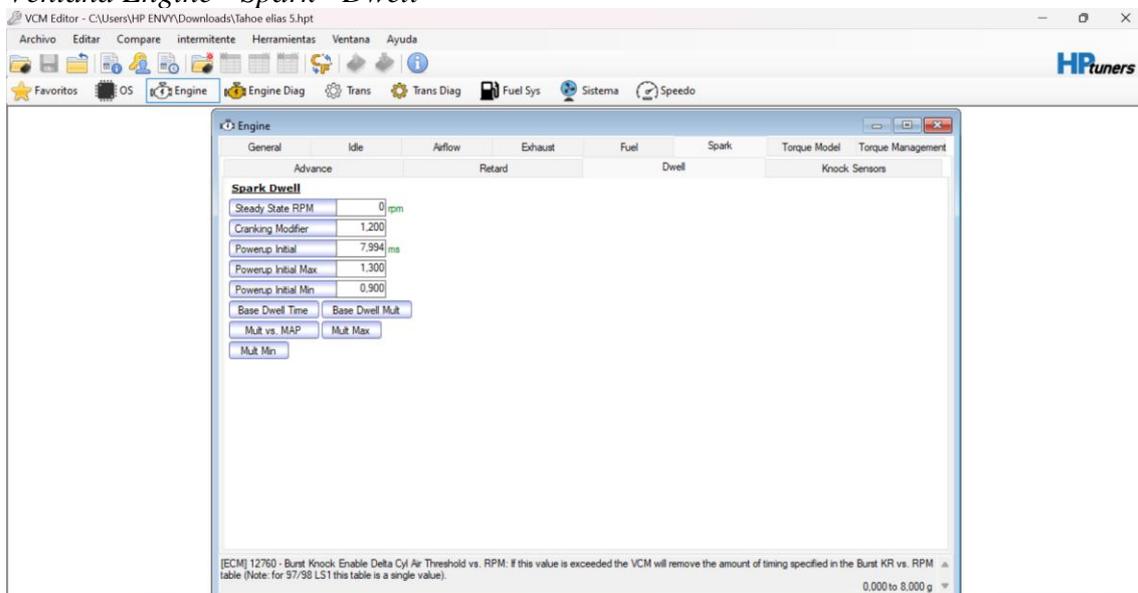
**Figura 32**  
*Ventana Engine - Spark - Retard*



Nota:[28]

**Engine - Spark - Dwell** .- Es el tiempo que la bobina de encendido permanece cargada antes de disparar la chispa, lo que influye en la eficiencia y potencia del encendido.

**Figura 33**  
*Ventana Engine - Spark - Dwell*

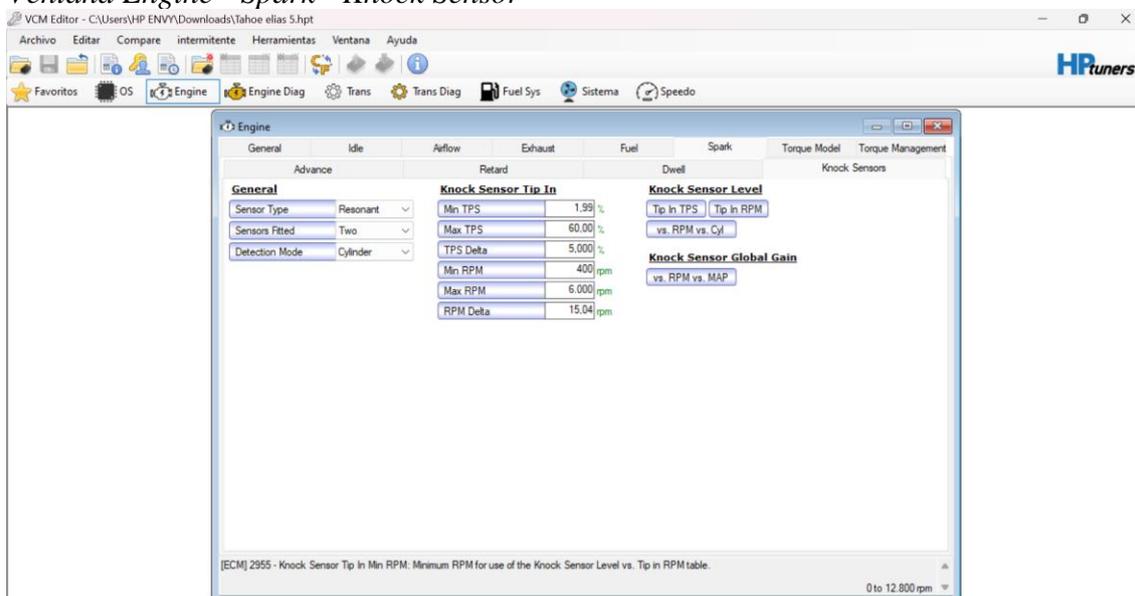


Nota:[28]

**Engine - Spark - Knock Sensor.**- Muestra la configuración de los sensores de detonación en VCM Editor, incluyendo sensores resonantes y detección por cilindro. Se definen umbrales de activación según TPS y RPM, con valores mínimos y máximos ajustables. Además, se configuran parámetros de sensibilidad en función de RPM, MAP y cilindros para optimizar la detección de detonaciones y prevenir daños en el motor.

**Figura 34**

*Ventana Engine - Spark - Knock Sensor*

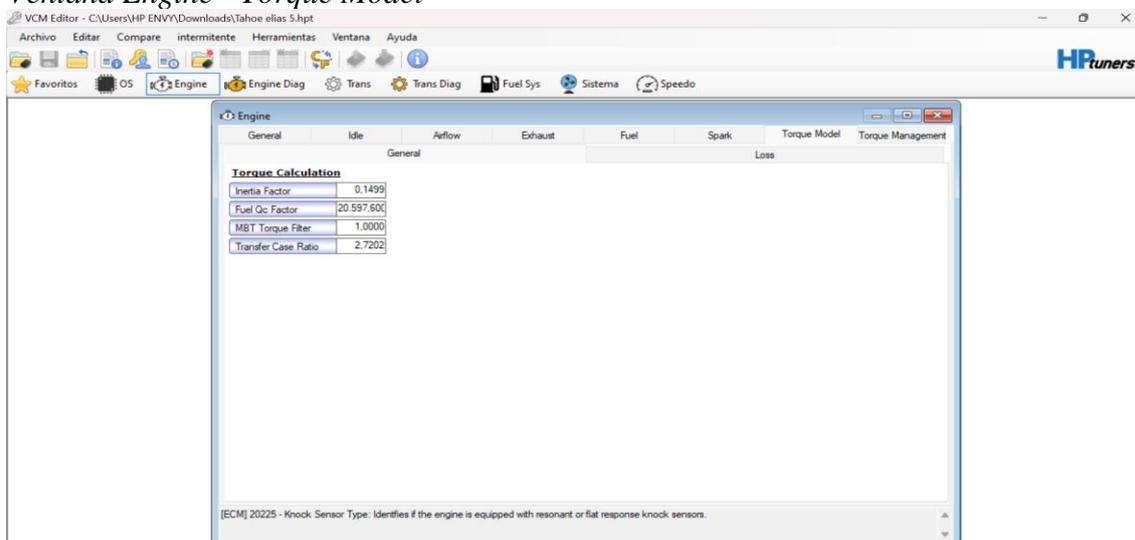


Nota:[28]

**Engine - Torque Model.** - Se utiliza para la calibración y ajuste de parámetros en la ECU de vehículos. Esta sección probablemente permite modificar cómo la ECU calcula y gestiona el torque del motor, optimizando su rendimiento y respuesta.

**Figura 35**

*Ventana Engine - Torque Model*

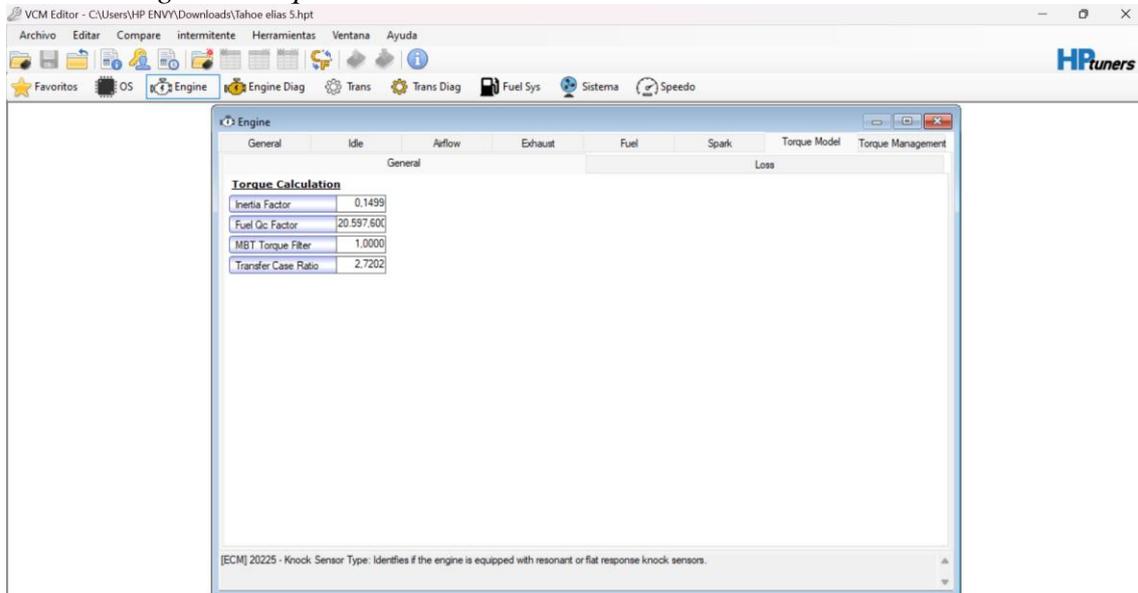


Nota:[28]

**Engine - Torque Model - General.** - Se visualizan parámetros de cálculo de torque, como el Inertia Factor, Fuel Qc Factor, MBT Torque Filter y Transfer Case Ratio, los cuales influyen en la respuesta y el desempeño del motor.

**Figura 36**

*Ventana Engine - Torque Model - General*

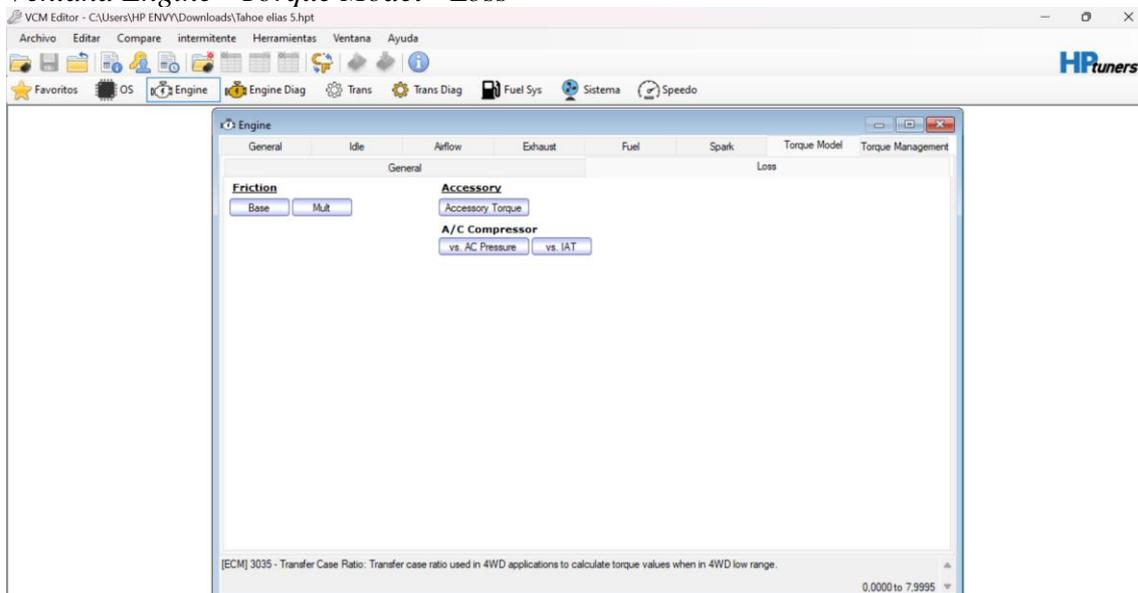


Nota:[28]

**Engine - Torque Model - Loss.**- Se configuran parámetros de pérdida de torque debido a fricción, accesorios y el compresor de A/C. Se pueden ajustar valores base y multiplicadores para la fricción, así como modificar el torque de accesorios y la respuesta del compresor según la presión del A/C y la temperatura del aire.

**Figura 37**

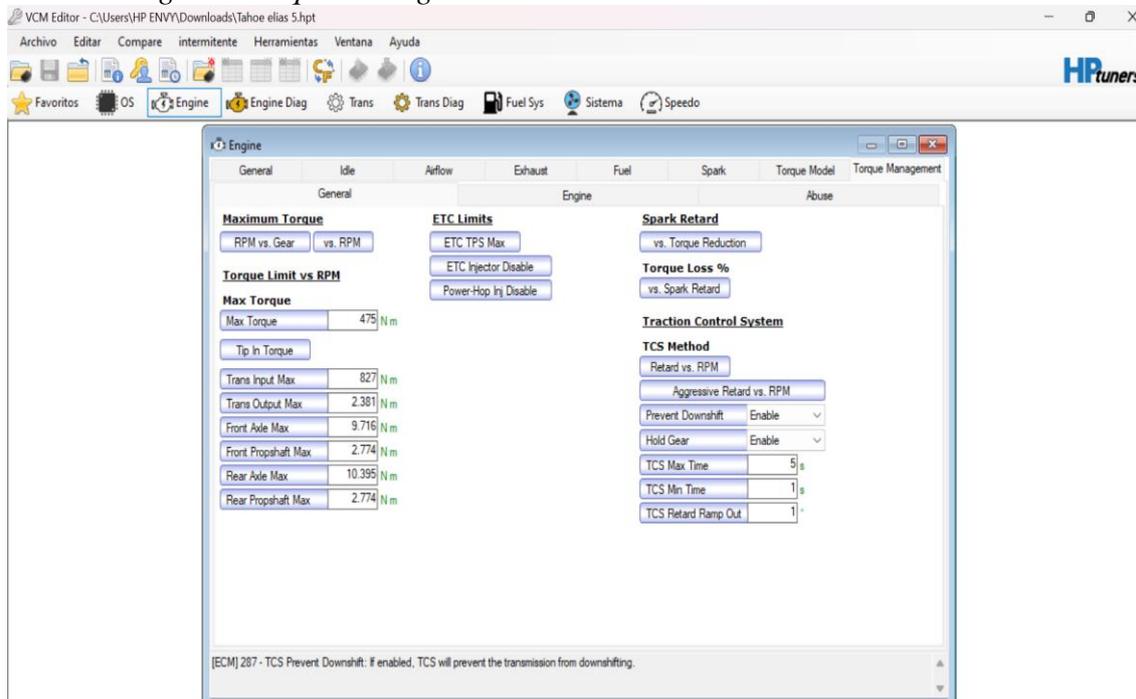
*Ventana Engine - Torque Model - Loss*



Nota:[28]

**Engine - Torque Management.** - Permite ajustar la gestión del torque del motor, incluyendo restricciones para proteger la transmisión y mejorar la respuesta del acelerador. Aquí se pueden modificar parámetros como la reducción de torque en cambios de marcha, protección del tren motriz y límites de torque aplicados por la ECU.

**Figura 38**  
*Ventana Engine - Torque Management*

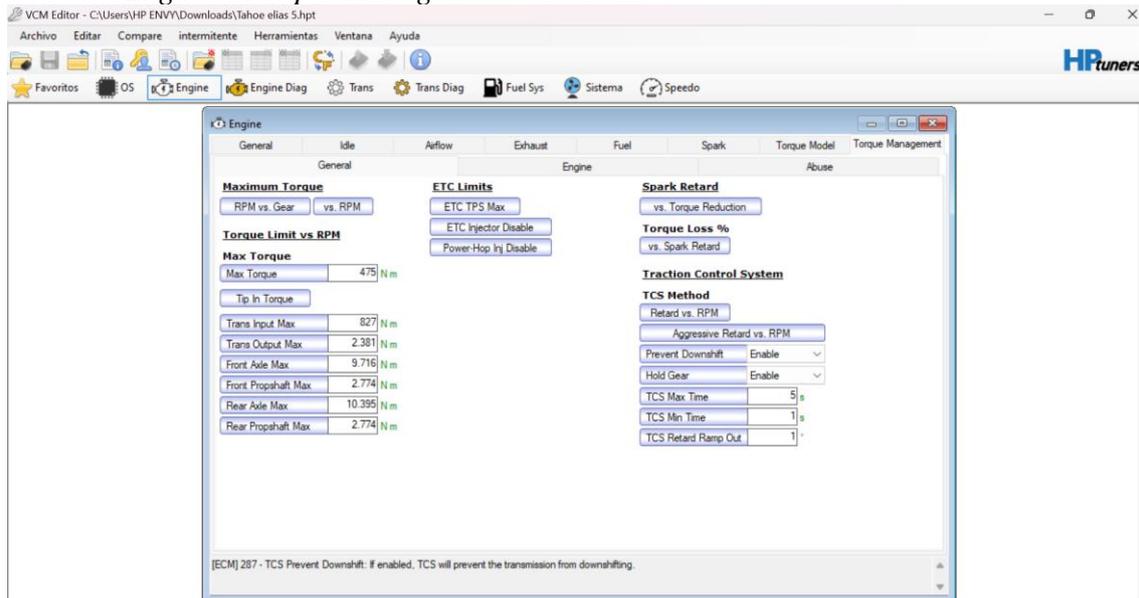


*Nota:*[28]

**Engine - Torque Management - General.**- Se ajusta la gestión del torque del motor y la transmisión, incluyendo límites de torque máximo, control de tracción, reducción de chispa y restricciones electrónicas. También posibilita la modificación de parámetros como la reducción de torque por RPM, el control del acelerador electrónico (ETC), los límites de transmisión y los ajustes de pérdida de torque, optimizando así el rendimiento y la protección del tren motriz.

**Figura 39**

**Ventana Engine - Torque Management - General**

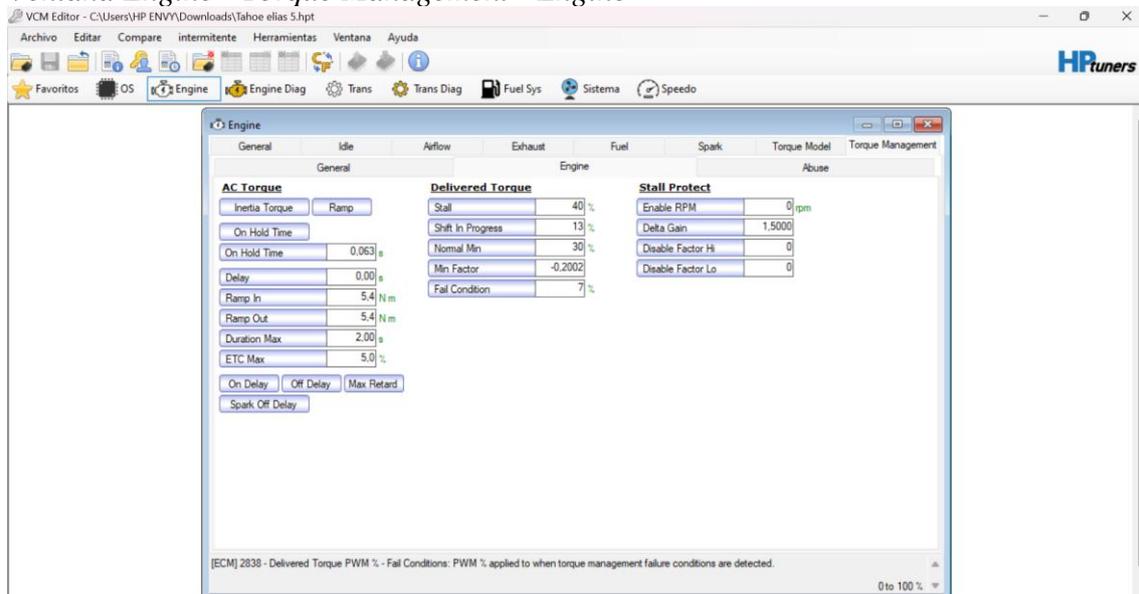


Nota:[28]

**Engine - Torque Management - Engine.** - Permite configurar la gestión del torque del motor y la transmisión, incluyendo parámetros como AC Torque, que ajusta la compensación de torque por el uso del aire acondicionado; Delivered Torque, que regula la entrega de torque en diversas condiciones; y Stall Protect, que evita la pérdida de RPM mediante ajustes en los factores de des habilitación y la ganancia delta.

**Figura 40**

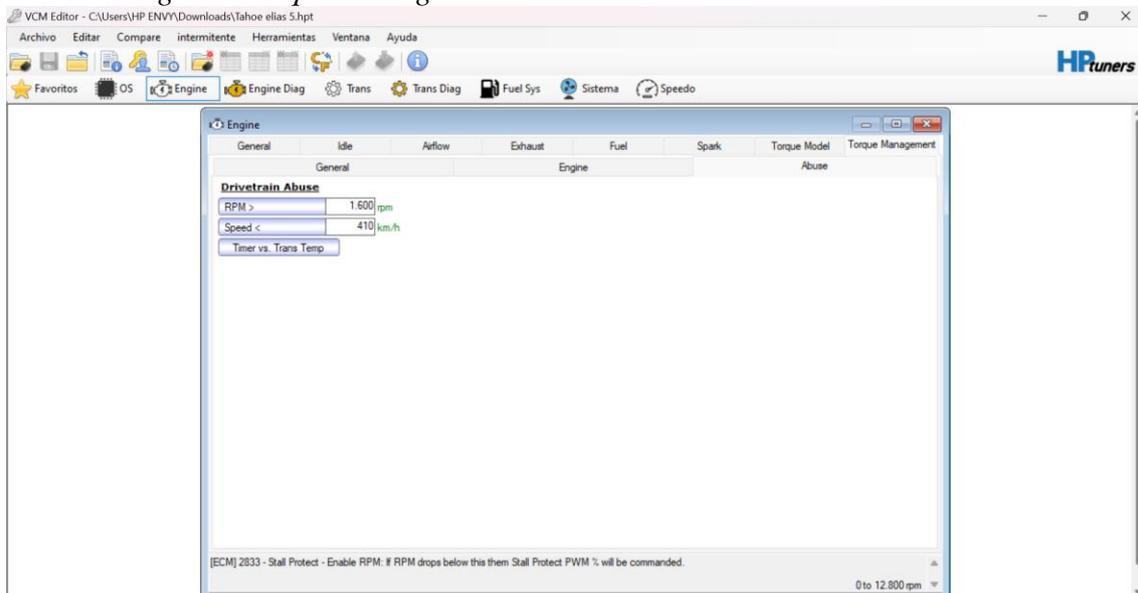
**Ventana Engine - Torque Management - Engine**



Nota:[28]

**Engine - Torque Management - Abuse.**- Establece límites de RPM y velocidad para proteger la transmisión. También incluye un temporizador basado en la temperatura de la transmisión.

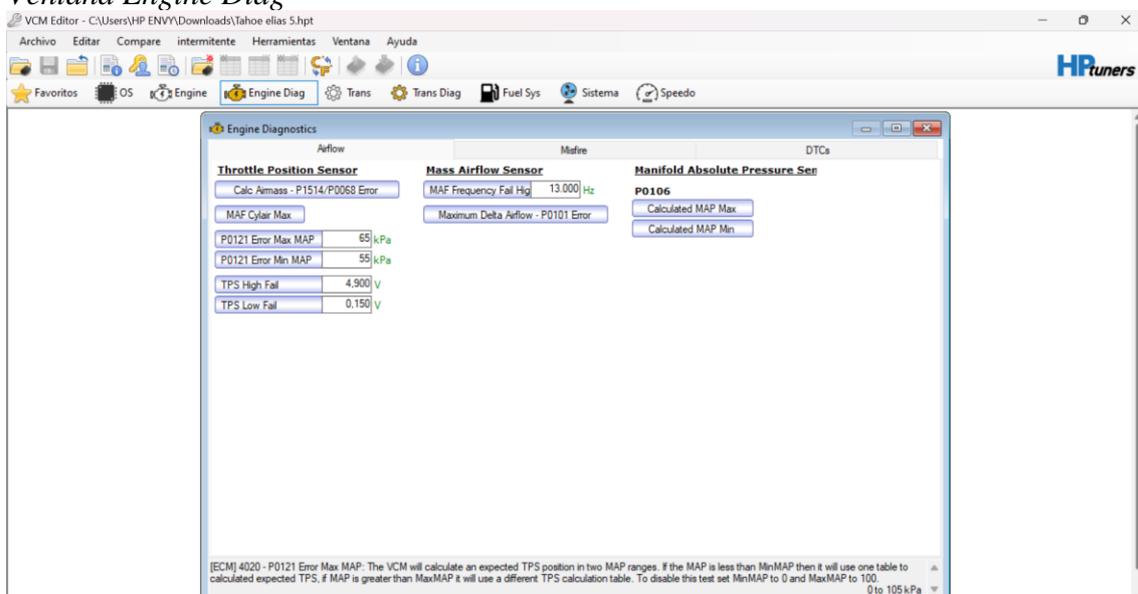
**Figura 41**  
*Ventana Engine - Torque Management - Abuse*



Nota:[28]

**Engine Diag.**- Diagnóstico del motor es una opción utilizada para realizar la verificación del estado de funcionamiento del motor.

**Figura 42**  
*Ventana Engine Diag*

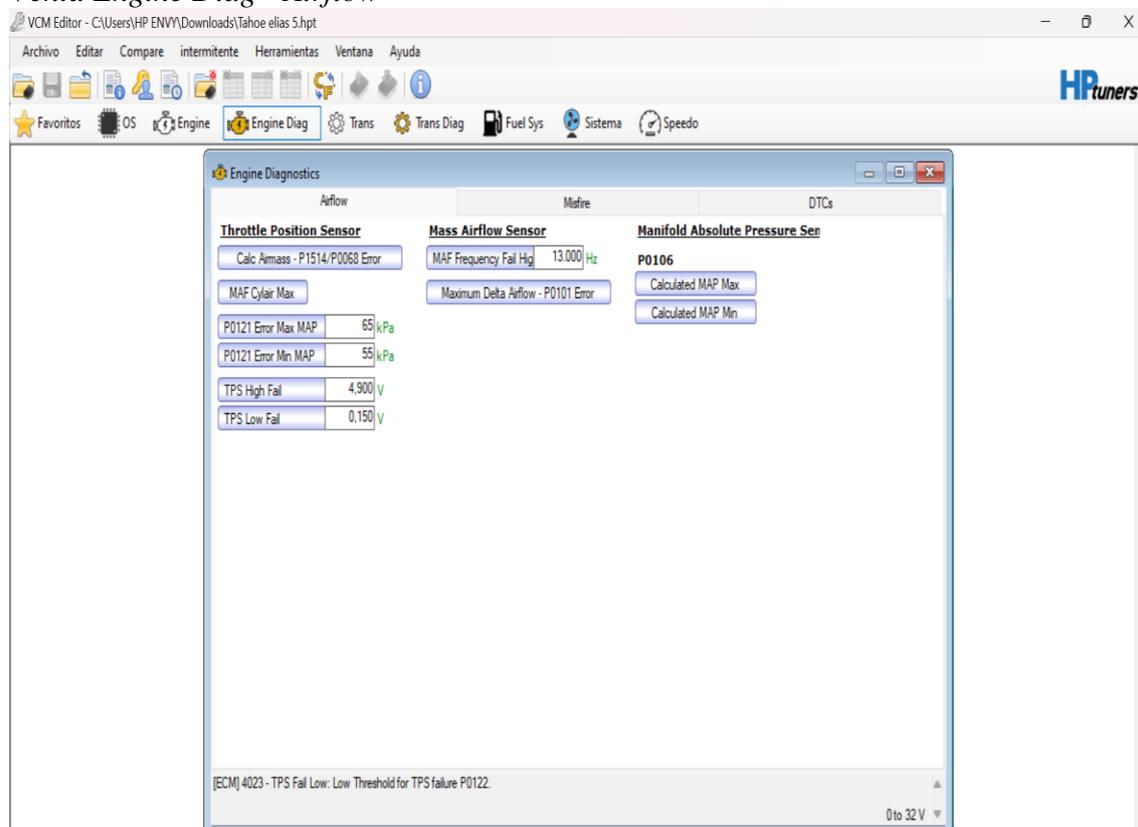


Nota:[28].

**Engine Diag - Airflow.-** Muestra errores en sensores clave como el Throttle Position Sensor, Mass Airflow Sensor y MAP Sensor. Indica códigos de falla (P1514, P0068, P0101, P0106) y parámetros de diagnóstico. Estos datos ayudan a detectar y corregir problemas en la gestión del motor.

**Figura 43**

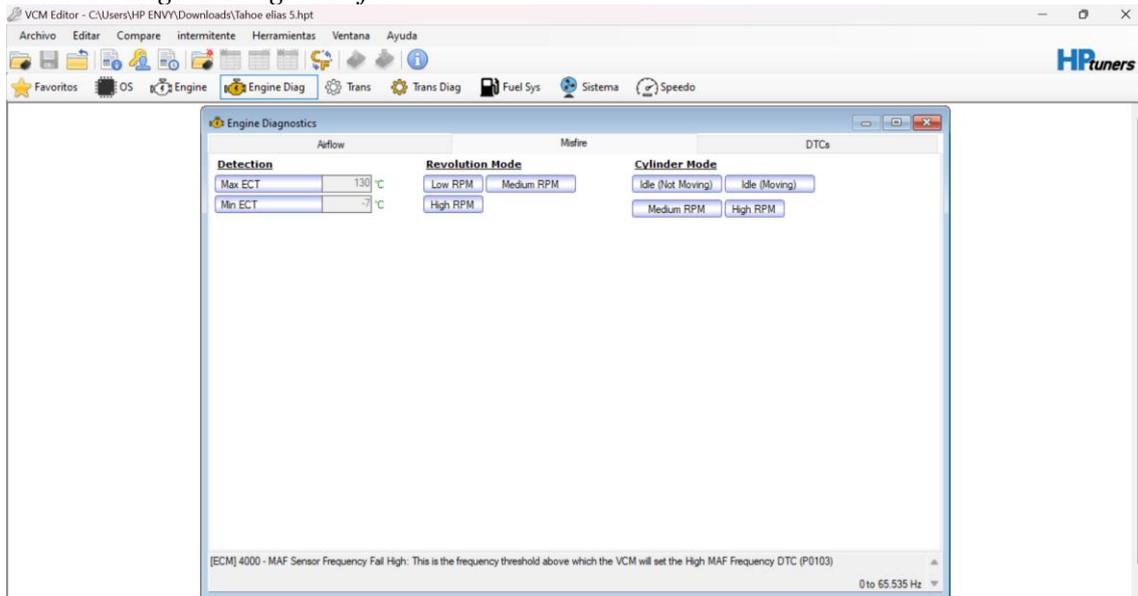
**Venta Engine Diag - Airflow**



Nota:[28].

**Engine Diag - Misfire.-** Muestra parámetros de detección, como la temperatura del refrigerante del motor (ECT), con valores máximo y mínimo. Además, incluye modos de operación basados en las revoluciones del motor (Revolution Mode) y el estado de los cilindros (Cylinder Mode) para diagnosticar fallos de encendido (Misfire).

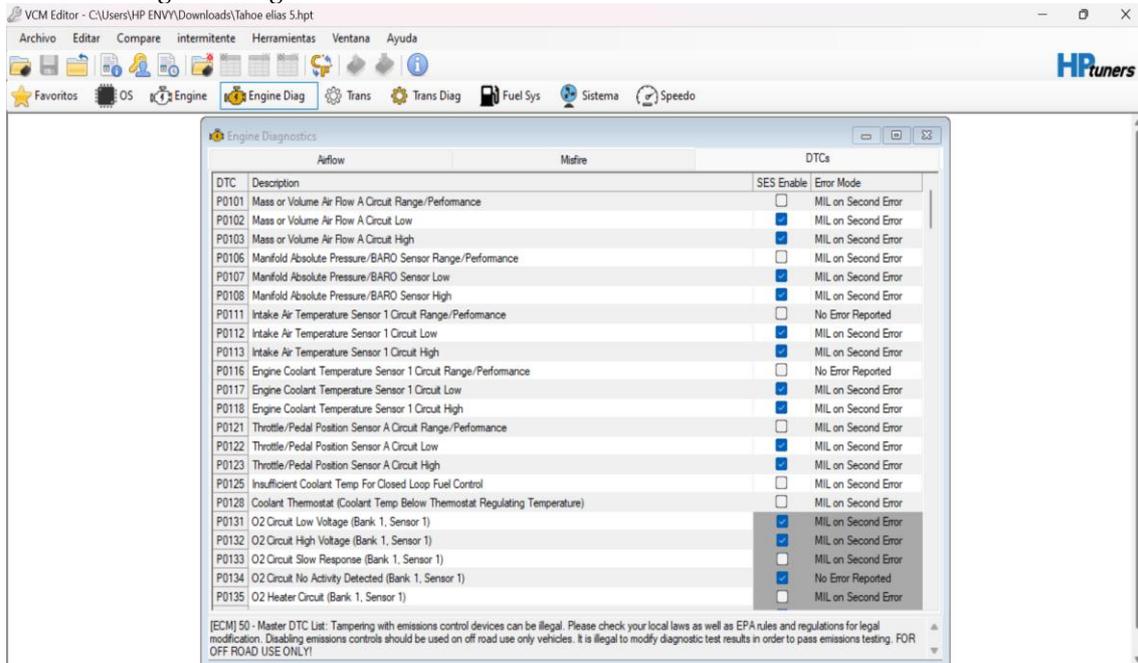
**Figura 44**  
Ventana Engine Diag - Misfire



Nota:[28].

**Engine Diag - DTCs.-** Detalla una lista de códigos de diagnóstico de fallas (DTCs) relacionados con sensores de flujo de aire, presión del múltiple de admisión, temperatura del refrigerante y sensores de oxígeno. Muchos errores activan la luz de mal funcionamiento (MIL) en el segundo fallo detectado.

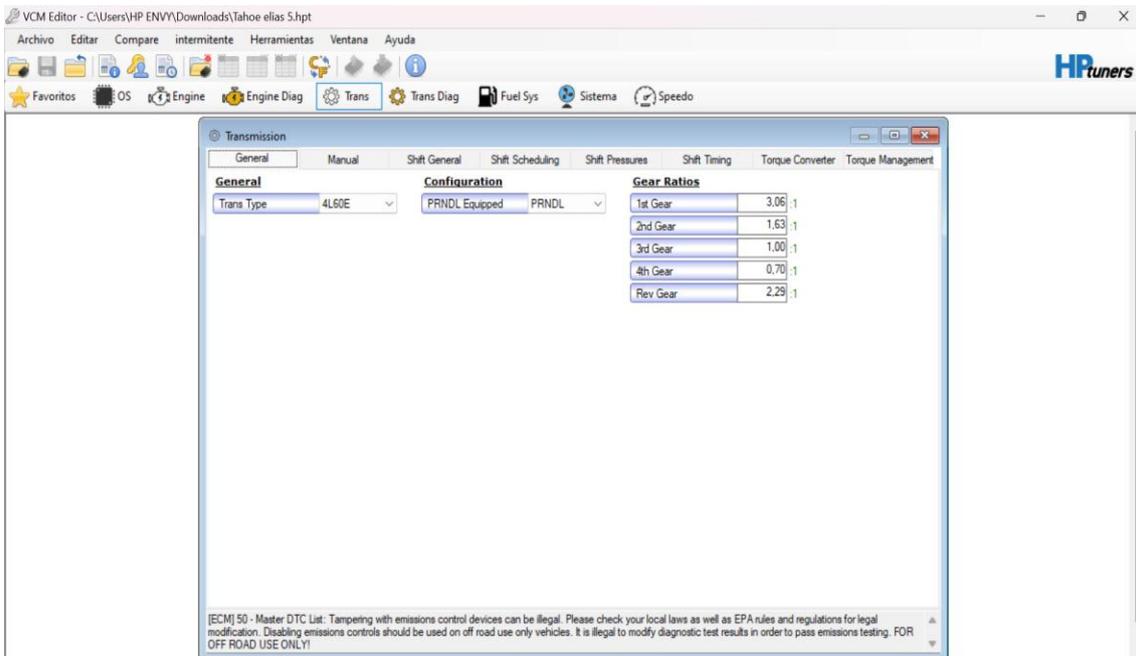
**Figura 45**  
Ventana Engine Diag - DTCs



Nota:[28].

**Trans.** - Esta sección permite modificar y diagnosticar parámetros relacionados con la transmisión del vehículo.

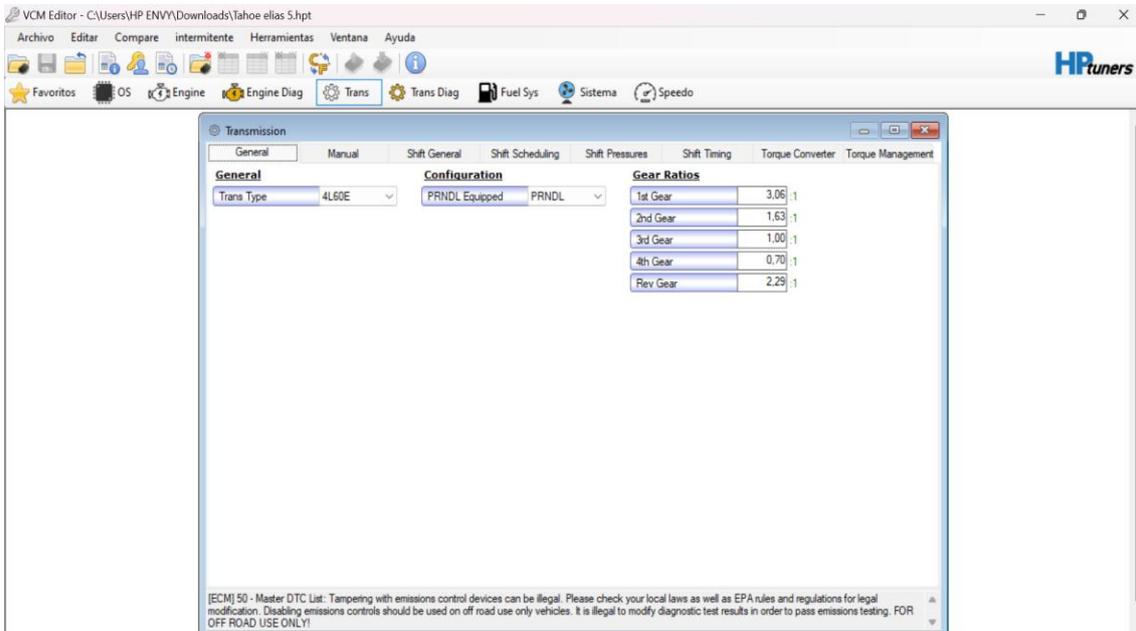
**Figura 46**  
**Ventana Trans**



Nota:[28].

**Trans - General.** - Se ajustan parámetros generales, configuración de cambios y relaciones de engranajes.

**Figura 47**  
**Ventana Trans - General**

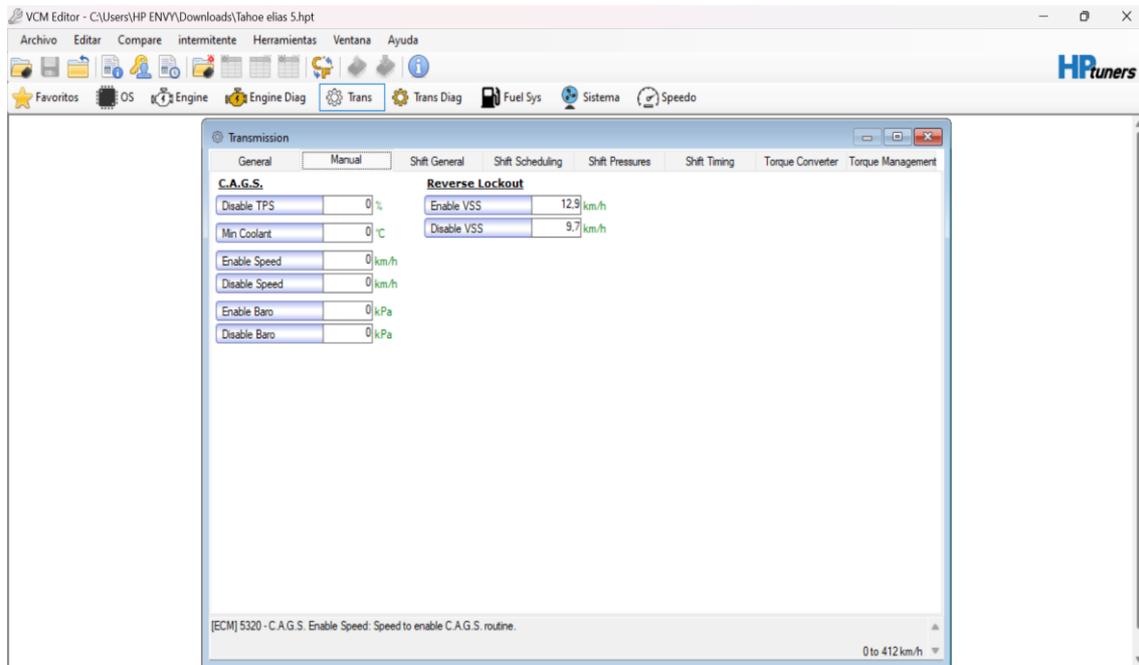


Nota:[28].

**Trans - Manual.** - Se ajustan parámetros como control de acelerador, temperatura mínima del refrigerante y bloqueo de reversa basado en la velocidad.

**Figura 48**

**Ventana Trans - Manual**

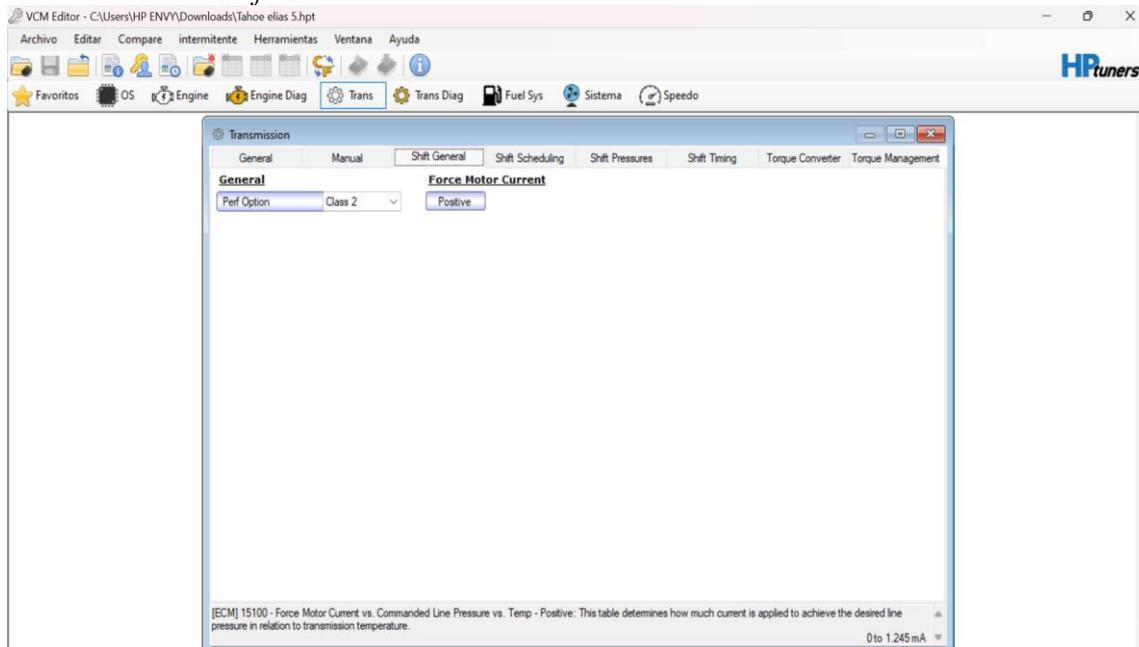


Nota:[28].

**Trans – Shift General.** - Aquí se ajustan las opciones de rendimiento y la configuración de la corriente del motor de fuerza, la cual está establecida en "Positive".

**Figura 49**

**Ventana Trans – Shift General**

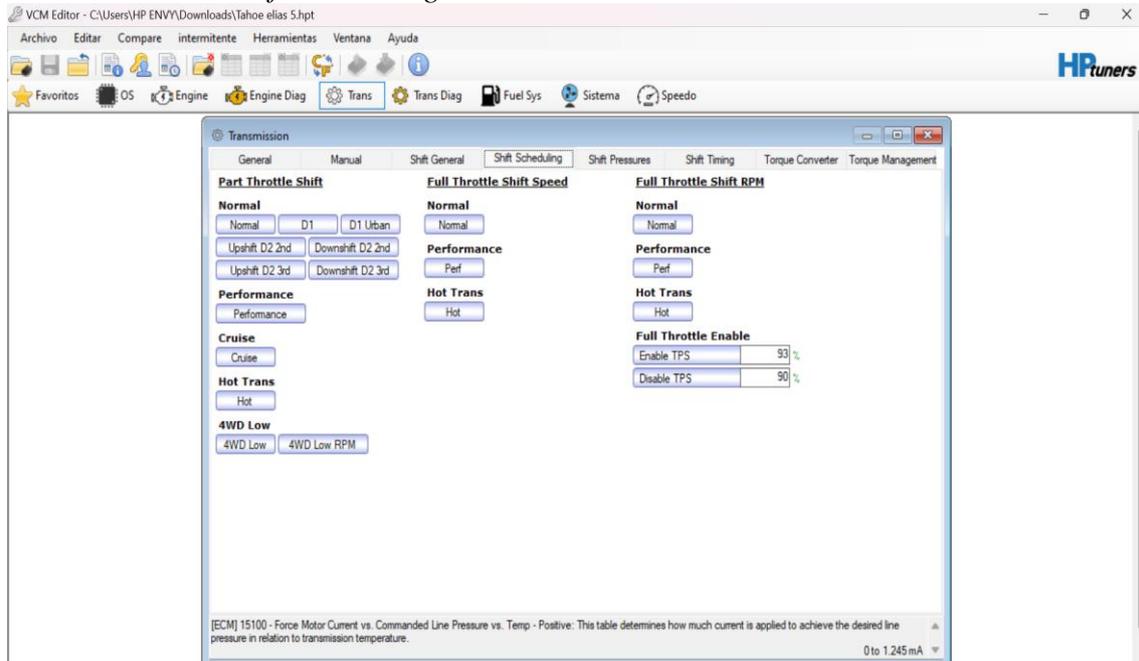


Nota:[28].

**Trans – Shift Scheduling.** - Se ajustan los puntos de cambio según distintas condiciones de conducción.

**Figura 50**

**Ventana Trans – Shift Scheduling**

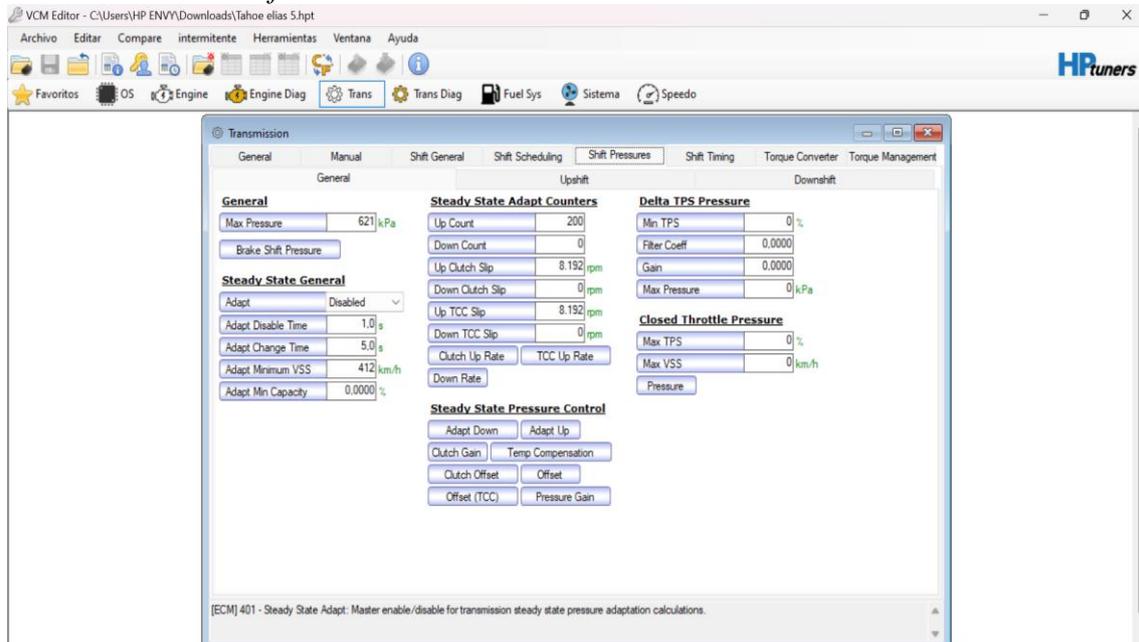


Nota:[28].

**Trans – Shift Pressures.** - Esta sección permite ajustar la presión de los cambios de marcha, lo que influye en el rendimiento y la respuesta de la transmisión.

**Figura 51**

**Ventana Trans – Shift Pressures**

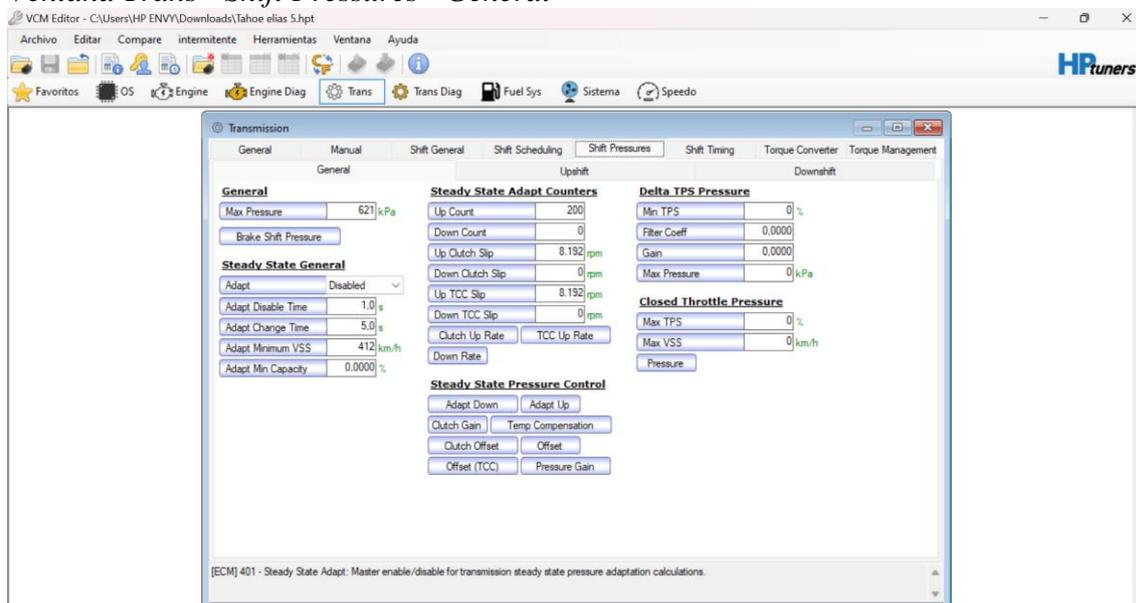


Nota:[28].

**Trans - Shift Pressures - General.** - Utilizada para ajustar el comportamiento de la transmisión automática. Incluye parámetros como presión máxima, adaptaciones de cambios, presión según TPS y control de presión en estado estable. Estos valores determinan la respuesta y eficiencia de los cambios de marcha del vehículo.

**Figura 52**

**Ventana Trans - Shift Pressures - General**

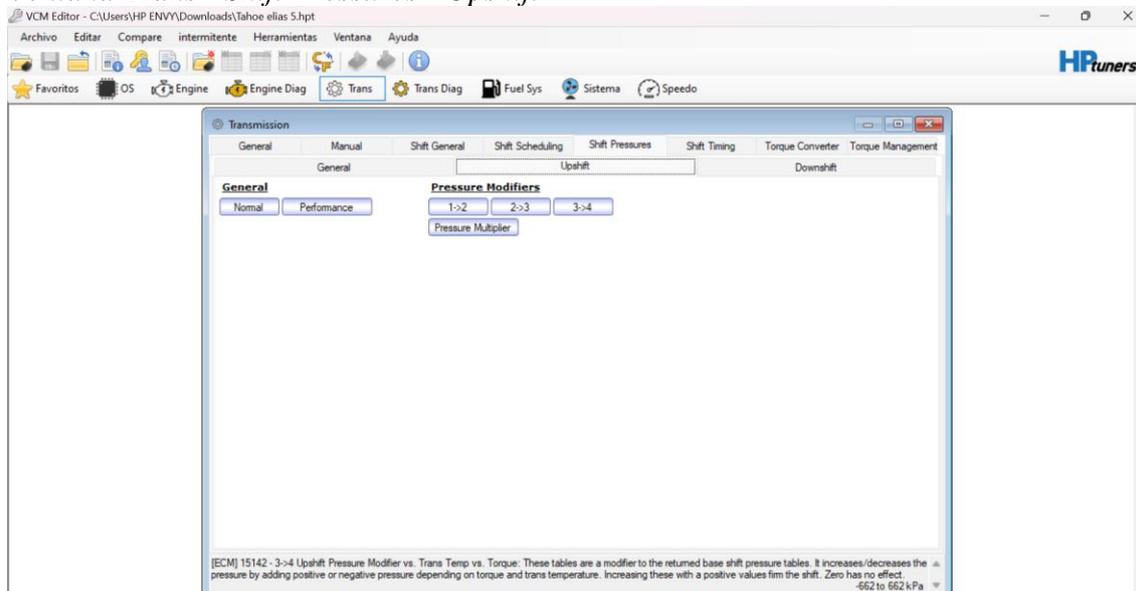


Nota:[28].

**Trans - Shift Pressures - Upshift.**- Permite seleccionar modos de conducción como Normal y Performance, además de ajustar los cambios ascendentes (Upshift) mediante modificadores de presión para transiciones específicas entre marchas.

**Figura 53**

**Ventana Trans - Shift Pressures - Upshift**

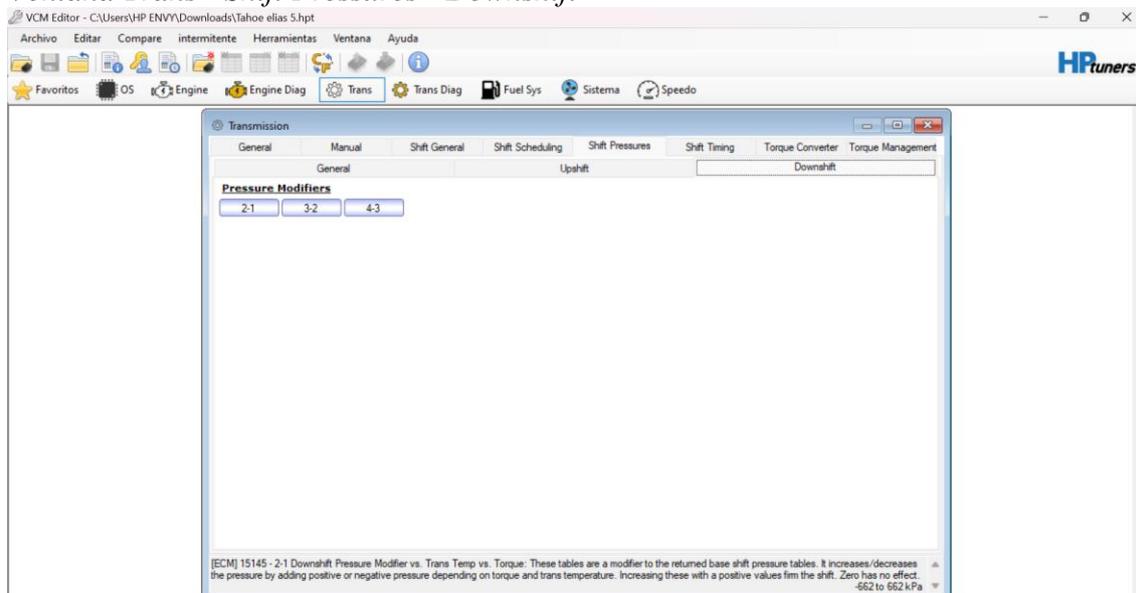


Nota:[28].

**Trans - Shift Pressures - Downshift.-** Permite configurar los modificadores de presión para optimizar los cambios ascendentes y descendentes.

**Figura 54**

**Ventana Trans - Shift Pressures - Downshift**

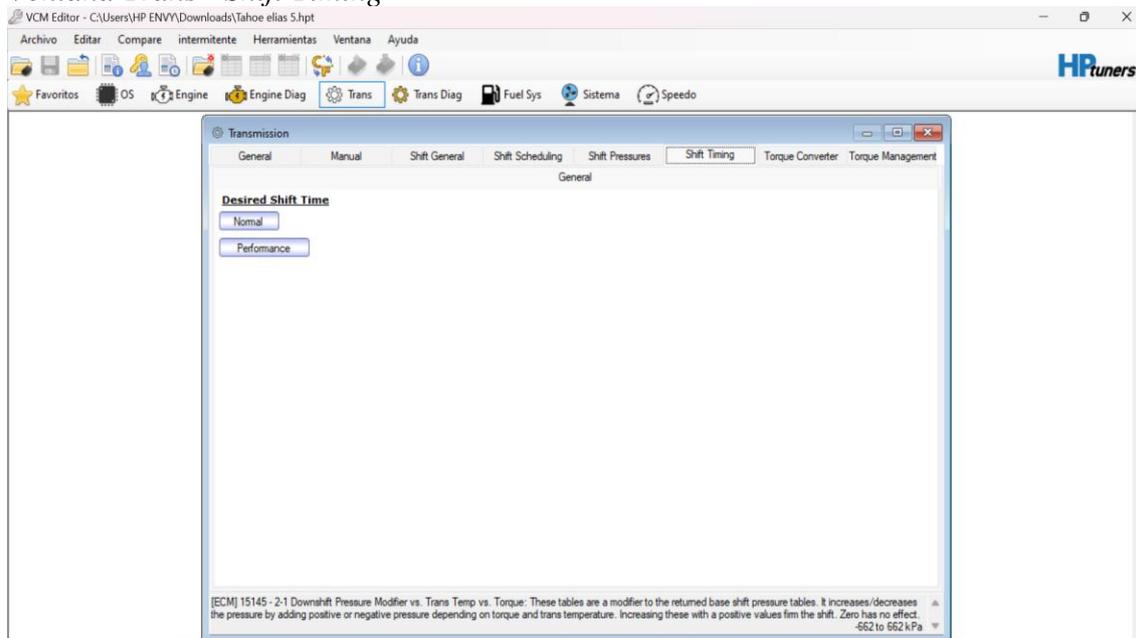


Nota:[28].

**Trans - Shift Timing.-** Permite ajustar la respuesta de la transmisión según las necesidades del usuario, incluyendo modos como Normal o Performance para la configuración de los tiempos de cambio.

**Figura 55**

**Ventana Trans - Shift Timing**

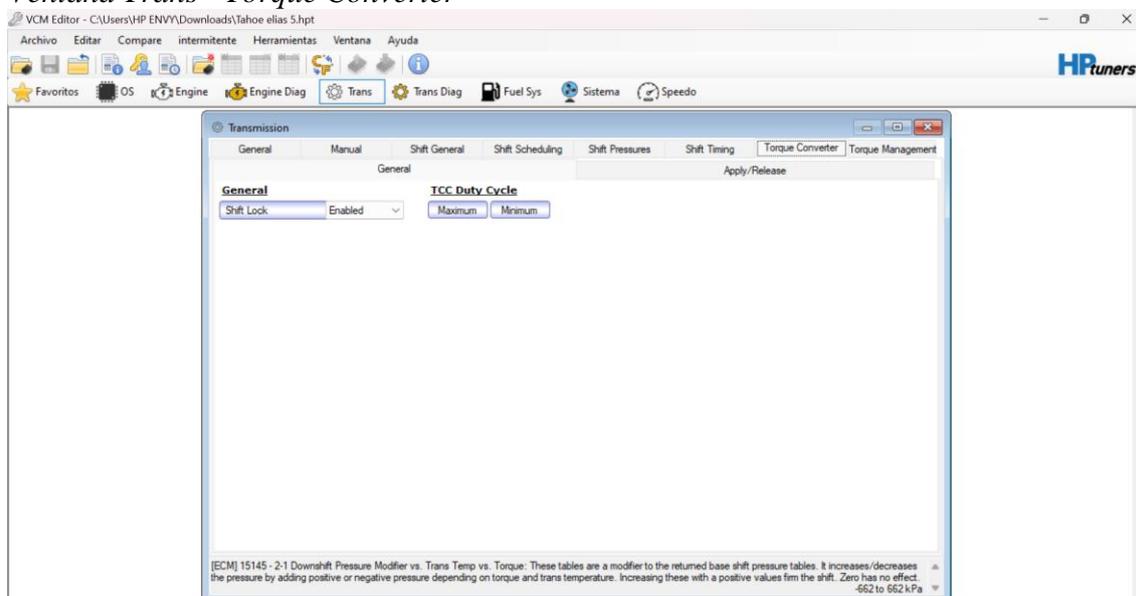


Nota:[28].

**Trans - Torque Converter.-** Se ajusta los parámetros de activación y liberación del convertidor de par (Apply/Release), lo que impacta el rendimiento, la eficiencia de combustible y la respuesta de la transmisión.

**Figura 56**

*Ventana Trans - Torque Converter*

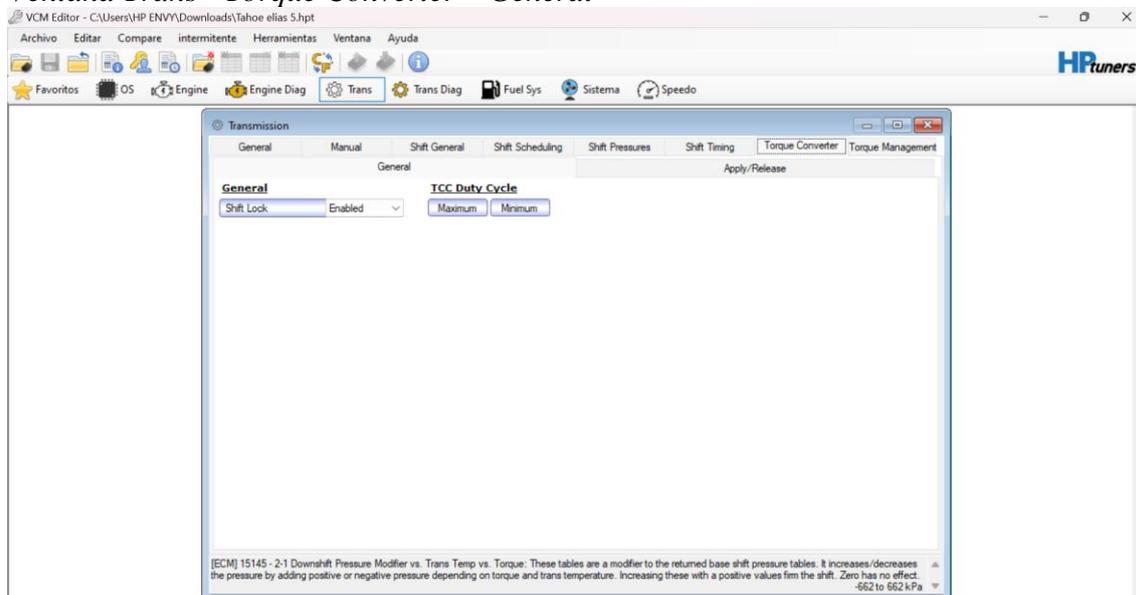


Nota:[28].

**Trans - Torque Converter – General .-** La pestaña 'General' del módulo de Transmisión reúne las configuraciones básicas para el control y funcionamiento del sistema. Desde aquí, es posible ajustar parámetros clave que influyen en su desempeño y eficiencia, permitiendo optimizar la respuesta según las necesidades del usuario.

**Figura 57**

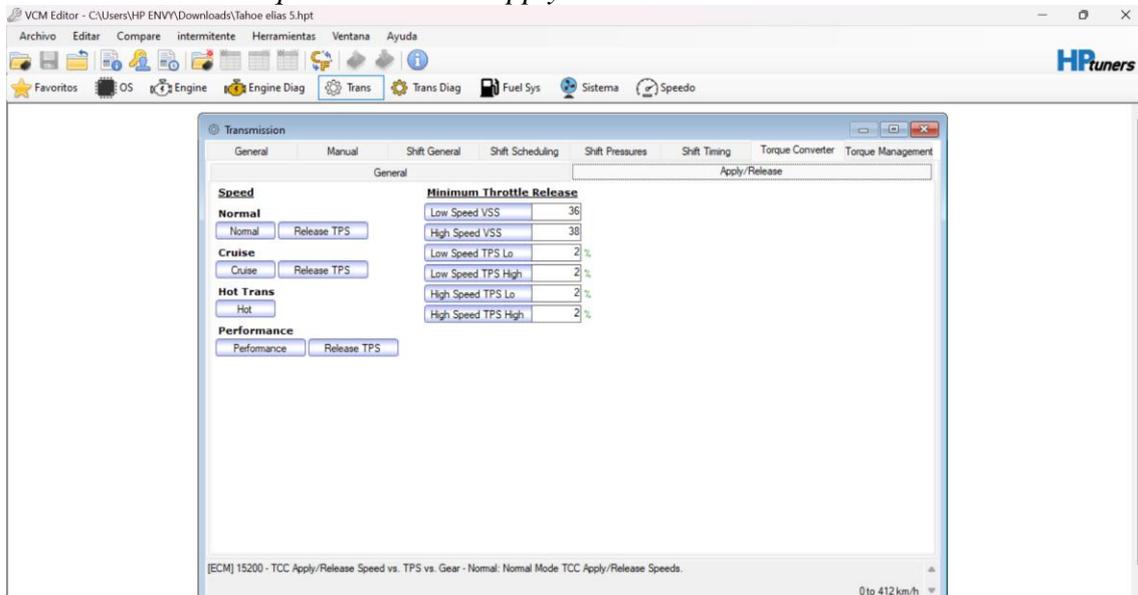
*Ventana Trans - Torque Converter – General*



Nota:[28].

**Trans - Torque Converter – Apply/Release .-** Esta área incluye ajustes como las velocidades específicas de activación (apply) o liberación (release) del embrague, los cambios de marcha y el comportamiento de los componentes bajo diversas condiciones de manejo.

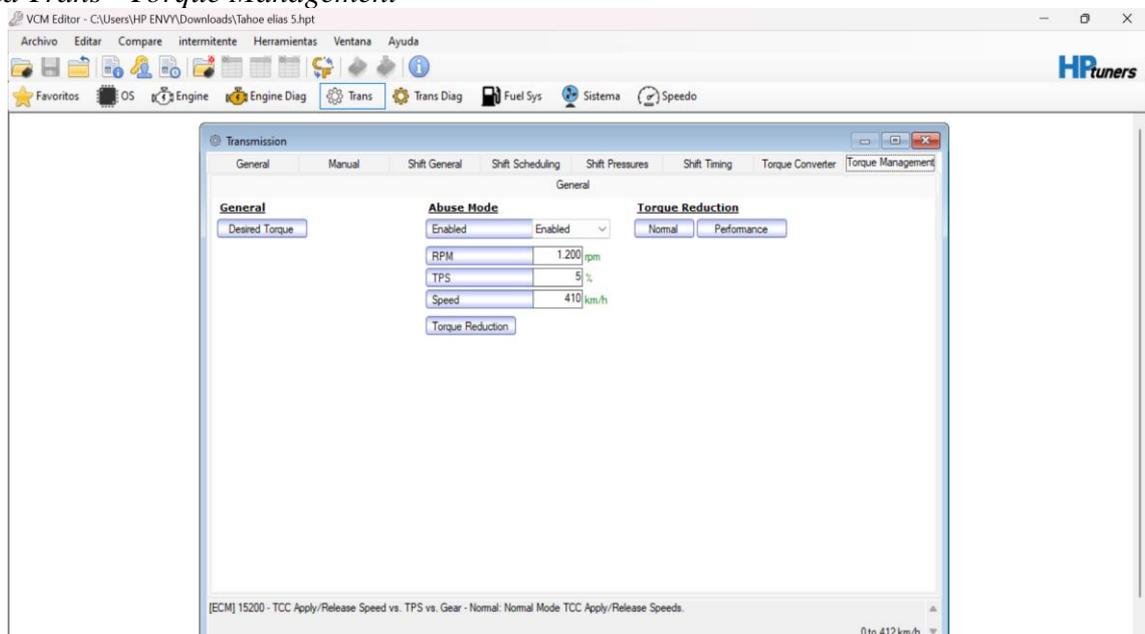
**Figura 58**  
*Ventana Trans - Torque Converter – Apply/Release*



Nota:[28].

**Trans - Torque Management .-** Se controlan parámetros para gestionar el torque, optimizando la transmisión y protegiendo los componentes del vehículo.

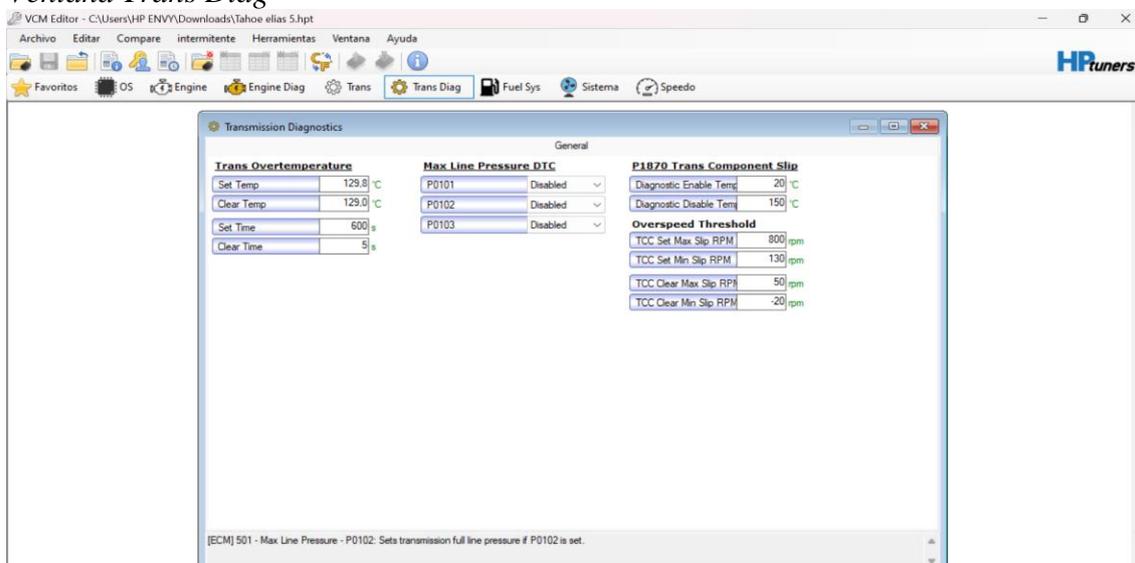
**Figura 59**  
*Ventana Trans - Torque Management*



Nota:[28].

**Trans Diag.-** Se ajusta configuraciones que gestionan la cantidad de torque que se permite en diferentes situaciones, protegiendo la transmisión y mejorando el desempeño.

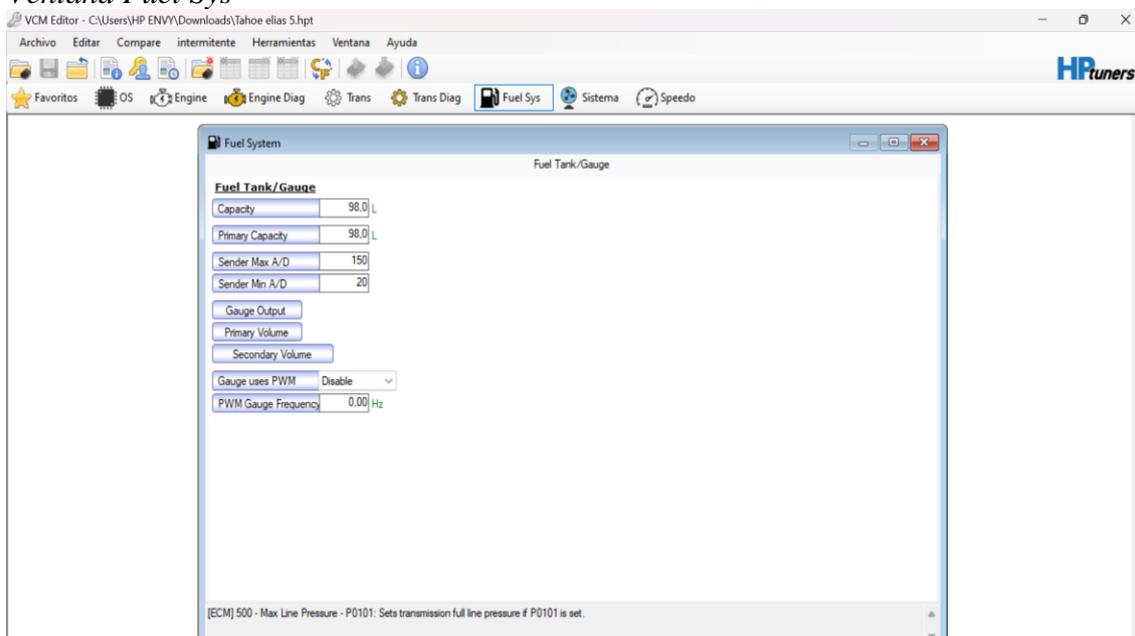
**Figura 60**  
*Ventana Trans Diag*



Nota:[28].

**Fuel Sys.-** Se configura ajustes clave del sistema de combustible, como la capacidad del tanque, calibraciones del sensor y opciones relacionadas con el indicador de nivel. Estas configuraciones aseguran un funcionamiento eficiente y preciso del sistema de combustible.

**Figura 61**  
*Ventana Fuel Sys*



Nota:[28].

**Sistema.-** En esta ventana presenta tres opciones relacionados con el sistema implementado en el vehículo, características generales, ventilador y aire acondicionado.

**Figura 62**

**Ventana Sistema**

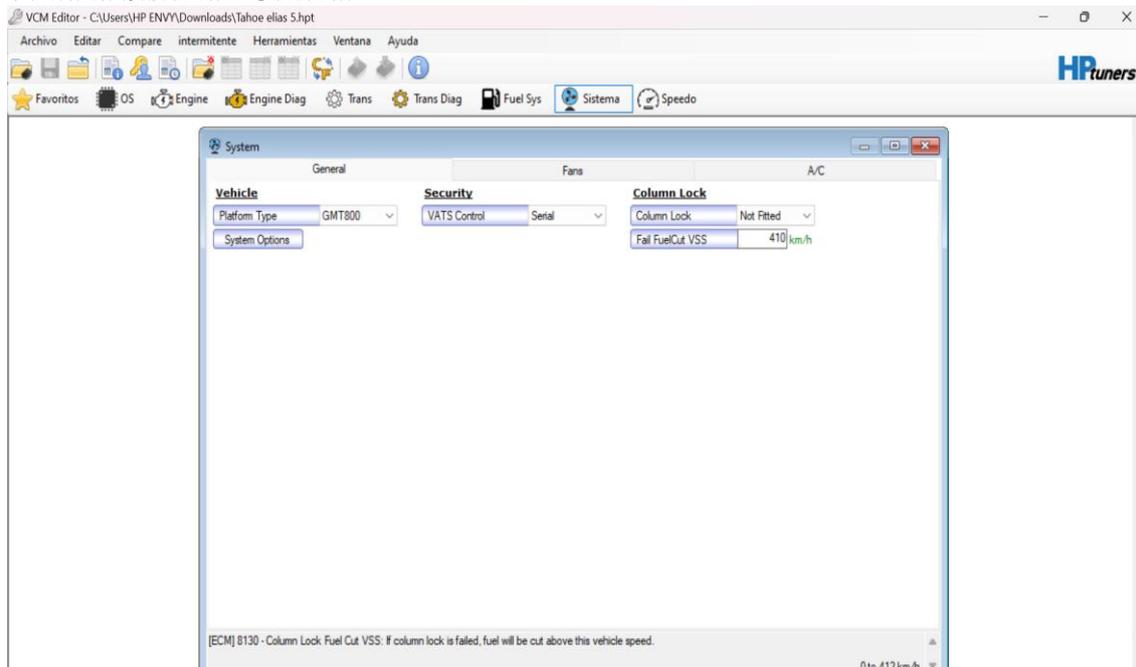


Nota:[28].

**Sistema - General .-** En esta pestaña se configura los parámetros claves del vehículo, como el tipo de plataforma, las opciones de seguridad y el bloqueo de columna (Column Lock), es fundamental para determinar el funcionamiento general del sistema del automóvil.

**Figura 63**

**Ventana Sistema - General**

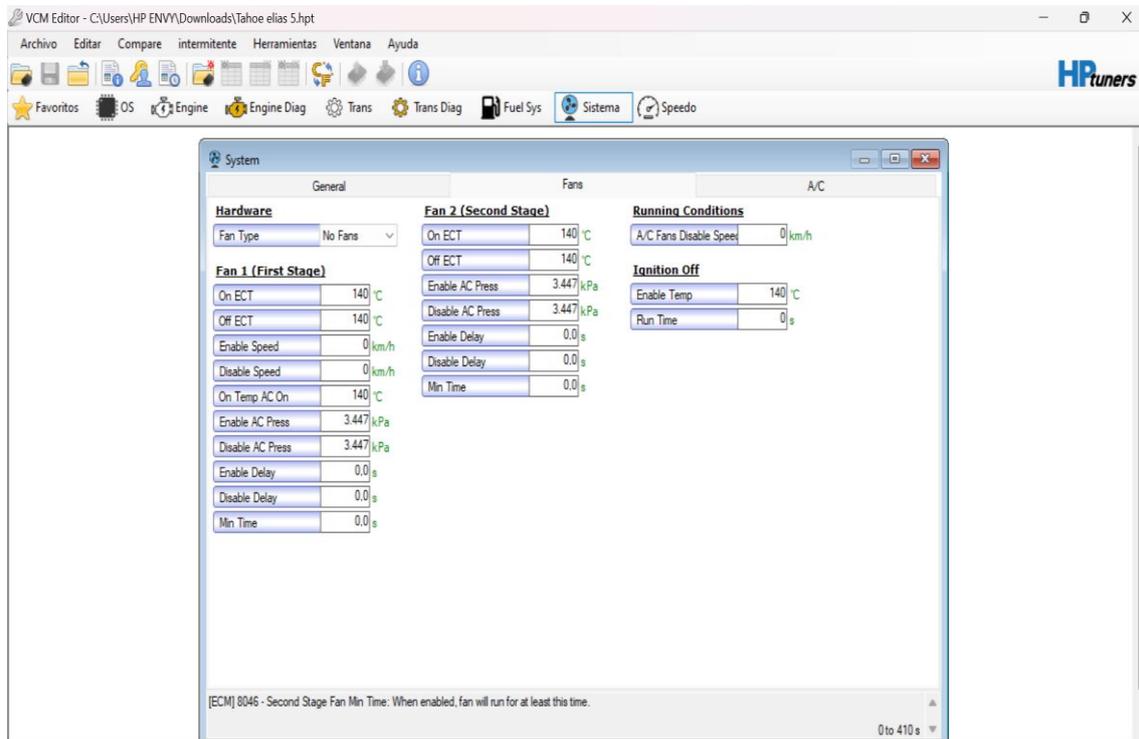


Nota:[28].

**Sistema - Fans.-** La pestaña presenta características y parámetros relacionadas con los ventiladores implementados en el vehículo.

**Figura 64**

**Ventana Sistema - Fans**

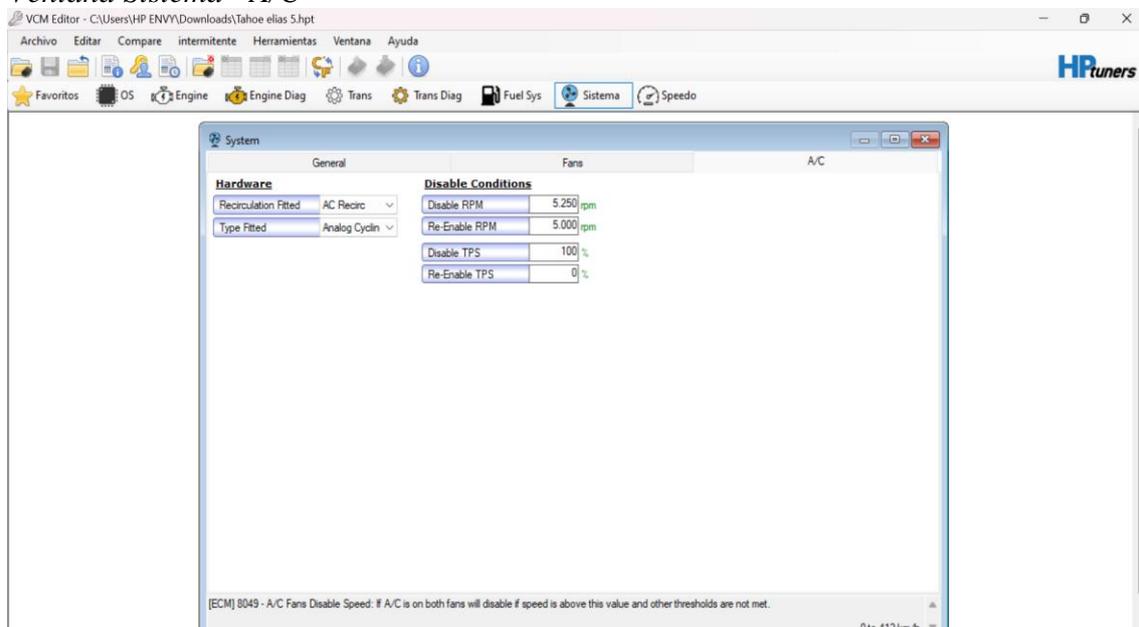


Nota:[28].

**Sistema - A/C.-** En la opción aire acondicionado indica el tipo de sistema implementado y los parámetros programados para la desactivación del sistema.

**Figura 65**

**Ventana Sistema - A/C**



Nota:[28].

**Speedo.-** En esta ventana presenta parámetros relacionados al velocímetro, su respectiva calibración y límites de funcionamiento.

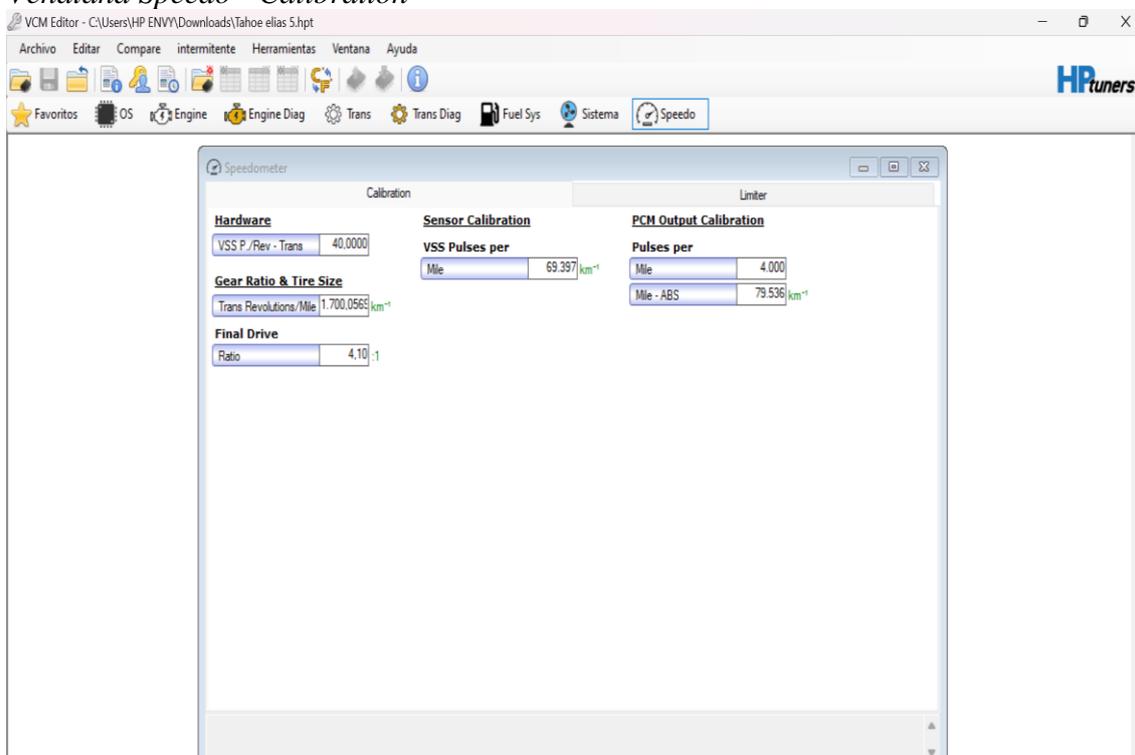
**Figura 66**  
**Ventana Speedo**



Nota:[28].

**Speedo - Calibration.-** En esta opción presenta parámetros de calibración del sensor utilizado para el funcionamiento del velocímetro.

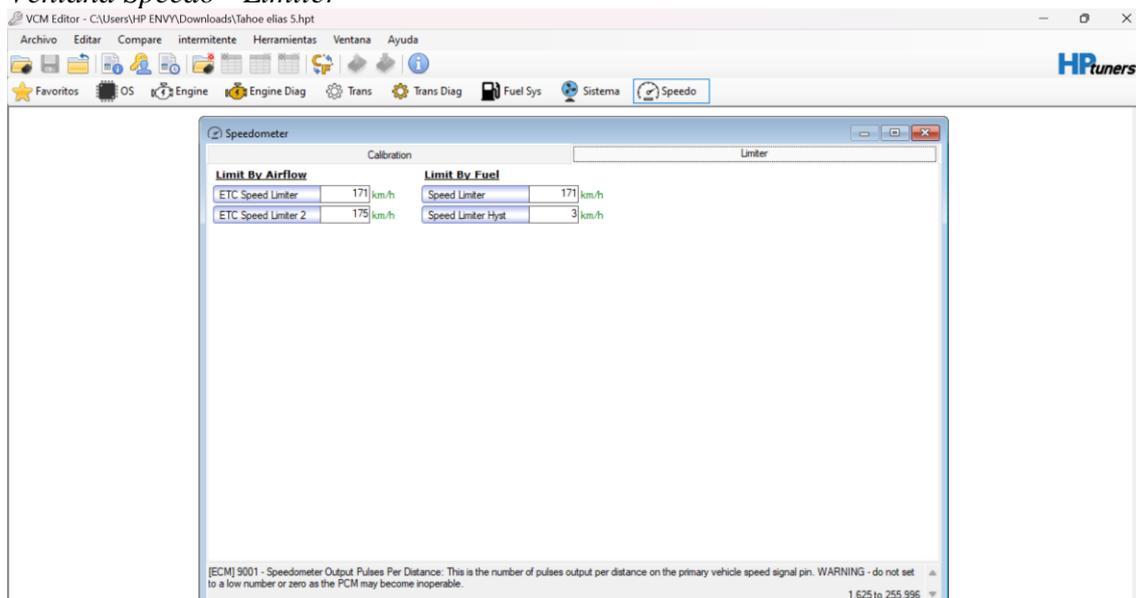
**Figura 67**  
**Venatana Speedo - Calibration**



Nota:[28].

**Speedo - Limiter.-** En esta ventana presenta los límites máximos de velocidad para el cierre automático del cuerpo de aceleración, como también el corte de inyección de combustible.

**Figura 68**  
*Ventana Speedo - Limiter*



*Nota:*[28].

**Actividad 3: Identificar los parámetros que intervienen en la reducción de emisiones de gases contaminantes;** conocer los principios básicos de funcionamiento del sistema de inyección de combustible permite facilitar la identificación de los parámetros que intervienen en la emisión de gases contaminantes, los elementos seleccionados para trabajar son:

Engine – Fuel – General – Stoichiometry

Engine – Fuel – Open Loop / Base – EQ ratio

Engine – Fuel – Power Enrich - EQ Ratio (Gas)

### **3.3.4 Fase 3: Medición de gases previo a la modificación de parámetros**

**Actividad 1: Establecer el procedimiento utilizado para realizar la medición de gases contaminantes;** es importante establecer un procedimiento de medición con la finalidad de poder replicar las pruebas, de esta manera se busca asegurar que las variaciones encontradas durante la investigación son producto de la modificación de parámetros de funcionamiento de la ECU y no son resultado de la influencia de una mala medición o factores externo, por lo tanto, es necesario considerar lo siguiente:

#### **Analizador de gases Brain Bee AGS-688**

El presente equipo pertenece a la marca italiana Brain Bee, cuya función principal es medir el porcentaje de ciertos compuestos químicos presentes en los gases emitidos por el escape de un vehículo, con la finalidad de realizar el diagnóstico de posibles fallas, además poder verificar el cumplimiento de la normativa vigente.

**Figura 69***Analizador de gases AGS-688*

*Nota:*[21].

Su interfaz incluye un panel con seis pantallas como se muestra en la Figura 69 esto facilitan la visualización de datos en tiempo real, también permite generar la impresión de informes instantáneos. Además, el AGS-688 cuenta con un sistema neumático accesible para un fácil mantenimiento y un software compatible con PC que permite realizar pruebas avanzadas, como la eficiencia del catalizador y la estanqueidad de la culata. También es posible conectar accesorios adicionales, como opacímetros y contadores de revoluciones, ampliando así su funcionalidad y versatilidad en el diagnóstico automotriz.

**Figura 70***Características del Analizador de gases AGS-688***CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES**

- Función automática de calibración a CERO.
- Tiempo de calentamiento menor a 10 minutos .
- Sistema de filtrado reforzado y con trampa de agua.
- Pruebas automáticas para residuos de HC y vacío.
- Auto prueba y auto diagnóstico.
- Compensador de altura, indispensable para ciudades de altura.
- Medición inalámbrica vía radio de RPM y temperatura de aceite con el accesorio MGT-300/R (opcional) .
- Pantalla LCD con iluminación de fondo.
- Software para PC de múltiples aplicaciones.
- Conexión a PC vía Cable USB. Opcionalmente vía BLUETOOTH .
- Impresora térmica de alta velocidad.
- Mide: HC, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> \* Cálculo de Lambda y CO corregido.
- Habilitado para medición de NO<sub>x</sub> con sensor opcional .
- Garantía real de un año.

*Nota:[21]*

Las principales características de este equipo permiten realizar la medición de cinco gases: hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) este último es opcional debido a que comparte pantalla con el valor lambda. Estas mediciones se pueden realizar de forma estática o dinámica dependiendo de las necesidades de operador.

Para poder interpretar de forma correcta los valores obtenidos es importante conocer los rangos de medición con los cuales se puede trabajar, en la siguiente imagen el fabricante especifica el rango y la resolución de cada uno de ellos.

*Rango de mediciones del analizador de gases Brain Bee AGS-688*

**Figura 71**

Rangos de mediciones del Analizador de gases AGS-688

RANGOS DE MEDICIÓN		
CO	0 - 9.99%	RES.: 0.01
CO2	0 - 19.9%	RES.: 0.1
HC	0 – 9999 ppm	RES.: 1
O2	0 – 25%	RES.: 0.01
LAMBDA	0.5 – 5 L	RES.: 0.001
NOx (*)	0 – 5000 ppm	RES.: 1
RPM (**)	300 – 9990 RPM	RES.: 10
TEMP. (***)	20 – 250° C	RES.: 1

Nota:[21]

**Procedimiento previo a la medición de gases.**

Para realizar correctamente la prueba de emisiones contaminantes haciendo uso del analizador de gases AGS-688, es necesario considerar algunas verificaciones antes de ser ejecutada.

- a. **Preparación del Equipo:** es necesario seguir las indicaciones del fabricante para la calibración, calentamiento y estabilización del equipo. La sonda debe estar completamente limpia, sin ningún tipo de partículas de suciedad o sustancias extrañas que puedan alterar la medición.
- b. **Preparación del vehículo:** el vehículo debe encontrarse en neutro, y los accesorios (luces, aire acondicionado, sonido, etc.) deben estar apagados. Revisar que el sistema de escape se encuentre en buenas condiciones, no debe existir ningún tipo de fugas. Antes de realizar la prueba se debe encender el motor del vehículo y verificar que el ralentí se encuentre estable y alcance la temperatura óptima de funcionamiento.

**Procedimiento para realizar la medición de gases.**

- a) **Conexión de la Sonda:** Conectar la sonda de medición al tubo de escape del vehículo, verificar que permanezca fija durante el desarrollo de la prueba.
- b) **Selección del Modo:** Seleccionar el modo de operación adecuado (estático o dinámico) según el tipo de prueba que se va a realizar.

- c) **Configuración de Parámetros:** Configurar los parámetros necesarios en el panel de usuario, como los tipos de gases a medir (HC, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) y otros ajustes relevantes.
- d) **Realizar la Medición:** una vez que el equipo se encuentre en condiciones óptimas, iniciar la medición y revisar que el analizador tome las muestras durante el tiempo recomendado.
- e) **Registro:** Una vez finalizada la medición, imprimir los resultados o exportar a un ordenador. La normativa NTE INEN 2 203:2000 señala que el valor que debe ser considerado es el mayor.

#### **Procedimiento Post-Medición**

Después de usar el analizador, es necesario limpiar la sonda y verificar el sistema neumático no presente ningún daño, con la finalidad de extender la durabilidad del equipo.

#### **3.4 Consideraciones bioéticas**

El presente trabajo de investigación no representó ningún peligro para las personas, se utilizaron herramientas digitales seguras y la prueba de emisiones de gases contaminantes se realizó respetando el procedimiento de medición establecido por el fabricante y utilizando el equipo de seguridad, además se buscó el acompañamiento de personal capacitado con la finalidad de evitar cualquier contratiempo que pueda causar algún tipo de accidente.

Un factor para considerar durante el desarrollo de esta investigación fue contribuir a reducir las emisiones de gases contaminantes, los cuales son causantes de afectaciones en la salud de las personas, además no es necesario el almacenamiento o manipulación de componentes nocivos que puedan estar en contacto con los investigadores y demás personas.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Evaluación de emisiones del vehículo

##### 4.1.1 Prueba de emisión de gases del vehículo

La prueba de emisión de gases se realizó en el taller de la Universidad Técnica del Norte donde se utilizó el equipo AGS-688, el procedimiento utilizado para realizar dicha medición fue el establecido en la Normativa INEN-2203 que se encuentra en el Anexo 1.

Chevrolet Tahoe 2001, en la Tabla 2 se realizó el registro de porcentaje de monóxido de carbono (CO), porcentaje de dióxido de carbono, partículas de hidrocarburos no quemados (HC) y porcentaje de oxígeno. Los cuales fueron obtenidos al realizar la prueba estática en ralentí en un rango de 750 a 850 rpm y posteriormente en un rango de 2250 a 2750 rpm. Se compara con los valores establecidos en la normativa vigente utilizados en la ciudad de Ibarra, y los resultados que se obtuvieron indican que el vehículo si cumplió con el porcentaje de partículas por millón de hidrocarburos y porcentaje de oxígeno, sin embargo, no cumplió con el porcentaje de monóxido de carbono establecidos en la normativa.

**Tabla 2**

*Resultado de prueba de emisiones sin modificaciones*

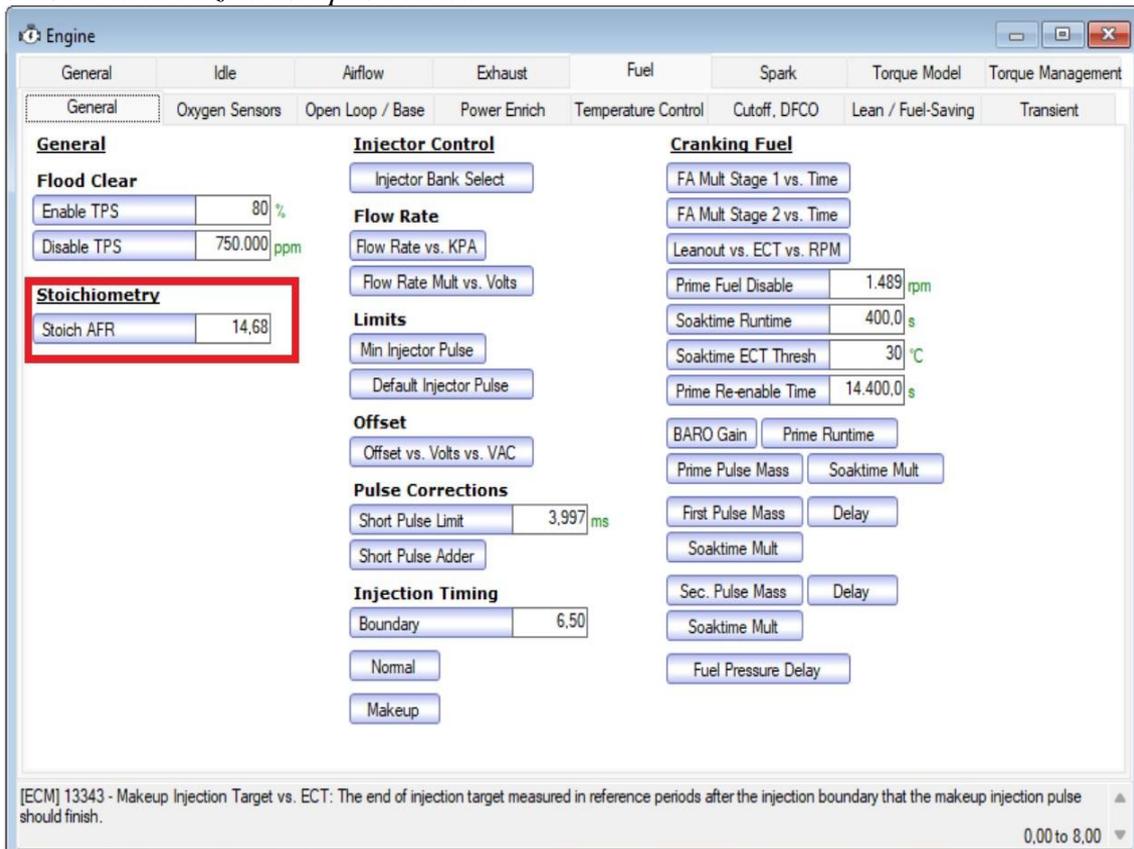
% CO				% CO <sub>2</sub>				Ppm HC				% O <sub>2</sub>			
0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm	
Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.
1,03	< 1	1,05	< 1	12,19		12,50		221	<250	96	<250	2,23	< 3	1,73	< 3

#### 4.2 Parámetros seleccionados para ser modificados

Se realizó la modificación de varios parámetros enfocándose en dos partes, la primera enriquecer la mezcla aire combustible es decir el valor lambda menor a 1 y la segunda parte empobrecerla, lambda mayor a 1. Las siguientes imágenes indican los valores iniciales programados en la ECU del vehículo con la finalidad de poder comparar los parámetros modificados y cuáles fueron los resultados obtenidos con estas modificaciones.

En la Figura 72 se muestra la ventana Engine – Fuel – General donde se puede realizar la modificación del valor de la mezcla estequiométrica con el cual se logra incrementar o disminuir el valor lambda.

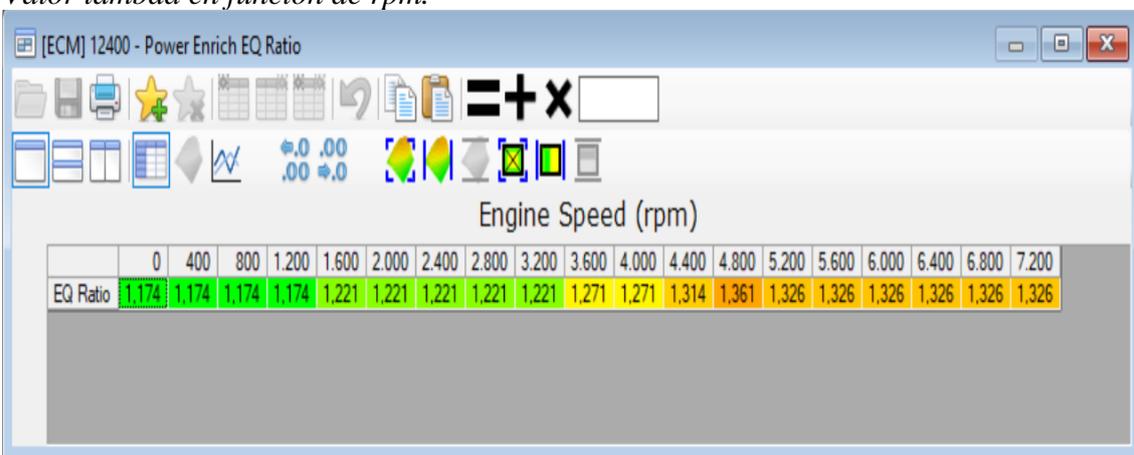
**Figura 72**  
Valor inicial mezcla estequiométrica



Nota:[28].

En la Figura 73 presenta los valores lambda que la ECU considera aplicar en función de la velocidad del motor detallada en rpm. Este valor varía en función de los rangos establecidos en esta programación.

**Figura 73**  
Valor lambda en función de rpm.

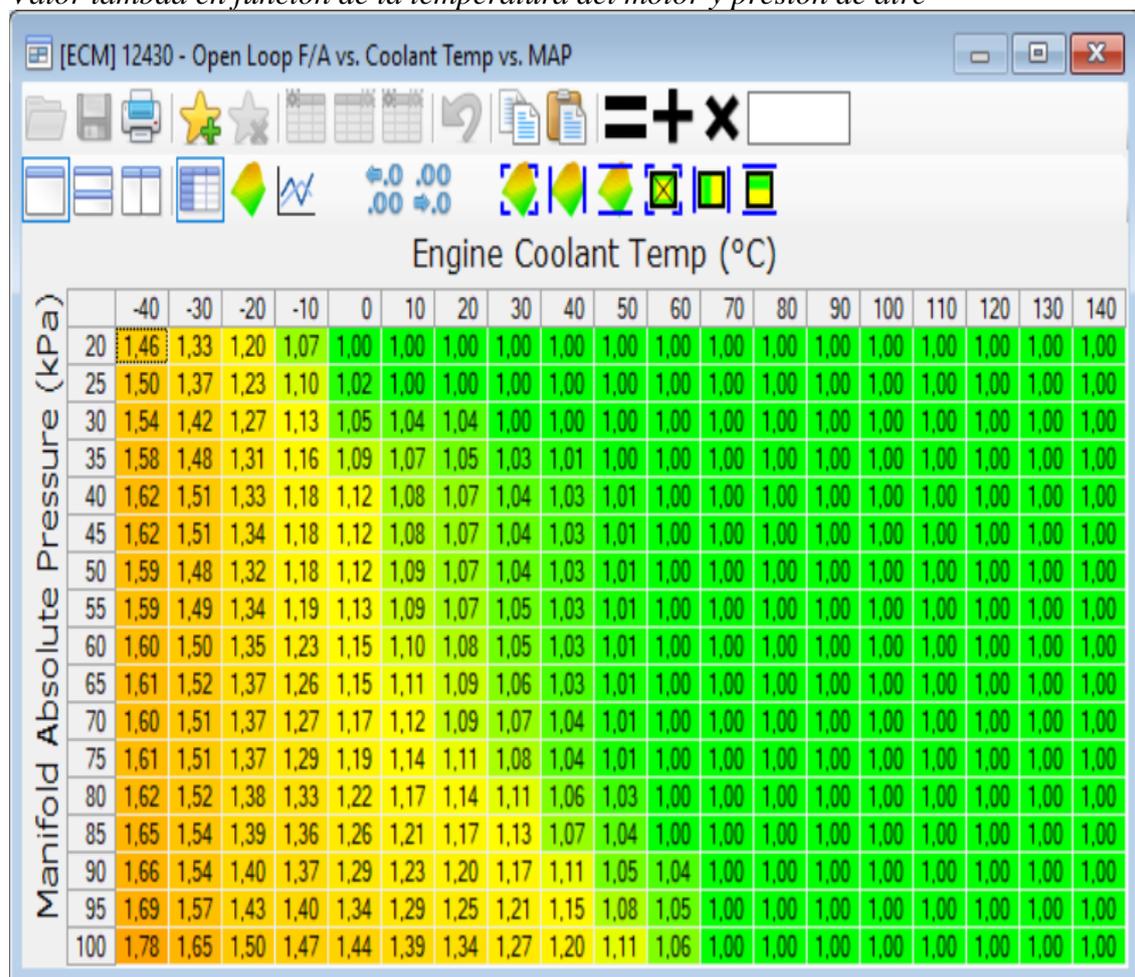


Nota:[28].

En la Figura 74 presenta el mapa de comportamiento del valor lambda en función de los valores de temperatura del motor y presión de aire obtenida por el sensor MAP, estos valores cambian dependiendo de las condiciones en que se encuentre trabajando el motor lo que busca esta programación es encontrar un equilibrio para evitar una mezcla demasiado pobre o rica, y evitar que exista una reducción en la eficiencia del motor o un incremento de emisiones contaminantes.

**Figura 74**

*Valor lambda en función de la temperatura del motor y presión de aire*



Nota:[28].

#### 4.2.1 Modificación de parámetros

Al realizar la modificación del valor lambda se realizó en dos partes, una de enriquecimiento y la otra de empobrecimiento de la mezcla, para lograr el incremento o reducción de la relación lambda fue necesario modificar el valor de la mezcla estequiométrica, aplicando la siguiente formula:

$$\text{Valor Lambda} = \frac{\text{Valor mezcla estequiométrica Real}}{\text{Valor mezcla estequiométrica Deseado}}$$

Por ejemplo, si deseamos incrementar 0,025 en el valor lambda y aplicamos la formula anterior.

$$1,025 = \frac{\text{Valor mezcla estequiométrica Real}}{14,7}$$

$$1,025 \times 14,7 = \text{Valor mezcla estequiométrica Real}$$

$$\text{Valor mezcla estequiométrica Real} = 1,025 \times 14,7$$

$$\text{Valor mezcla estequiométrica Real} = 15,0675$$

El Valor obtenido se reemplaza en la parte indicada en la Figura 72, además en los mapas indicados en la Figuras 73 y Figura 74 se suma o se resta el valor que deseado para enriquecer o empobrecer la mezcla respectivamente.

#### **4.3 Resultado de emisiones del vehículo con parámetros modificados**

##### **4.3.1 Prueba de emisión de gases del vehículo con parámetros modificados**

La modificación del valor lambda se llevó a cabo en dos etapas diferenciadas: primero, empobreciendo la mezcla aire-combustible y, posteriormente, enriqueciéndola. Este procedimiento se realizó de manera progresiva, con el objetivo de observar y analizar detalladamente el comportamiento de las emisiones de gases contaminantes a medida que variaba la composición de la mezcla.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3 y la Tabla 4, donde se muestran los valores medidos de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrocarburos (HC) y oxígeno (O<sub>2</sub>), expresados en porcentaje. Además, para un análisis más completo, estos datos se registraron en dos rangos diferentes de revoluciones por minuto (rpm), lo que permite comparar el efecto de la variación del valor lambda bajo distintas condiciones de funcionamiento del motor.

En particular, la Tabla 3 expone los resultados de la prueba de emisiones contaminantes al incrementar el valor lambda en 0,025 unidades en cada ensayo, lo que corresponde a un empobrecimiento progresivo de la mezcla aire-combustible. A partir de estos datos, se puede observar una reducción gradual en los porcentajes de CO, CO<sub>2</sub> y HC a medida que la mezcla se vuelve más pobre. Sin embargo, es importante destacar que, de forma inversa, el porcentaje de oxígeno presente en los gases de escape muestra un aumento conforme avanza el empobrecimiento de la mezcla.

**Tabla 3***Resultado de emisiones incrementando el valor lambda*

<b>Modificación del lambda + 0,025</b>															
<b>% CO</b>				<b>% CO<sub>2</sub></b>				<b>Ppm HC</b>				<b>% O<sub>2</sub></b>			
0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm	
Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.
0,97	< 1	0,99	< 1	12,17		12,44		212	< 250	86	< 250	2,29	< 3	1,85	< 3
<b>Modificación del lambda + 0,050</b>															
<b>% CO</b>				<b>% CO<sub>2</sub></b>				<b>Ppm HC</b>				<b>% O<sub>2</sub></b>			
0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm	
Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.
0,93	< 1	0,94	< 1	12,15		12,40		201	< 250	82	< 250	2,32	< 3	1,01	< 3
<b>Modificación del lambda + 0,075</b>															
<b>% CO</b>				<b>% CO<sub>2</sub></b>				<b>Ppm HC</b>				<b>% O<sub>2</sub></b>			
0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm	
Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.
0,88	< 1	0,91	< 1	12,10		12,35		191	< 250	79	< 250	2,51	< 3	1,18	< 3
<b>Modificación del lambda + 0,10</b>															
<b>% CO</b>				<b>% CO<sub>2</sub></b>				<b>Ppm HC</b>				<b>% O<sub>2</sub></b>			
0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm	
Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.
0,83	< 1	0,87	< 1	12,07		12,32		185	< 250	71	< 250	2,9	< 3	1,26	< 3

En la Tabla 4 se presentan los resultados correspondientes a la segunda fase de las modificaciones realizadas en el valor lambda, en la cual se disminuyó progresivamente dicho valor con el objetivo de obtener una mezcla aire-combustible más rica. Al igual que en la etapa anterior, esta variación se efectuó de manera gradual, restando 0,025 unidades de lambda en cada prueba sucesiva.

Los resultados obtenidos muestran que, a medida que la mezcla se enriquece, los porcentajes de monóxido de carbono (CO) y de hidrocarburos (HC) aumentan de forma constante en cada ensayo. Esto indica una mayor presencia de combustibles no quemados y productos de combustión incompleta, característicos de mezclas ricas. Por otro lado, el porcentaje de oxígeno (O<sub>2</sub>) en los gases de escape exhibe un comportamiento opuesto al observado en la fase de empobrecimiento: en este caso, el valor de O<sub>2</sub> disminuye progresivamente conforme la mezcla se vuelve más rica, lo que es coherente con la menor cantidad de oxígeno disponible tras la combustión.

En cuanto al dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), su comportamiento difiere del de los otros gases. Los datos evidencian que el porcentaje de CO<sub>2</sub> aumenta inicialmente con el

enriquecimiento de la mezcla, alcanzando un valor máximo, y posteriormente comienza a descender. Este fenómeno se debe a que, en una mezcla ligeramente rica, la combustión es más eficiente y se produce más CO<sub>2</sub>; sin embargo, al continuar enriqueciendo la mezcla más allá de cierto punto, la combustión se vuelve incompleta, disminuyendo la formación de CO<sub>2</sub> y aumentando la de otros contaminantes.

Estos resultados permiten analizar en detalle cómo la variación del valor lambda influye en la composición de los gases de escape, proporcionando información valiosa para el ajuste óptimo de la mezcla aire-combustible y la reducción de emisiones contaminantes en motores de combustión interna.

**Tabla 4**

*Resultado de emisiones reduciendo el valor lambda*

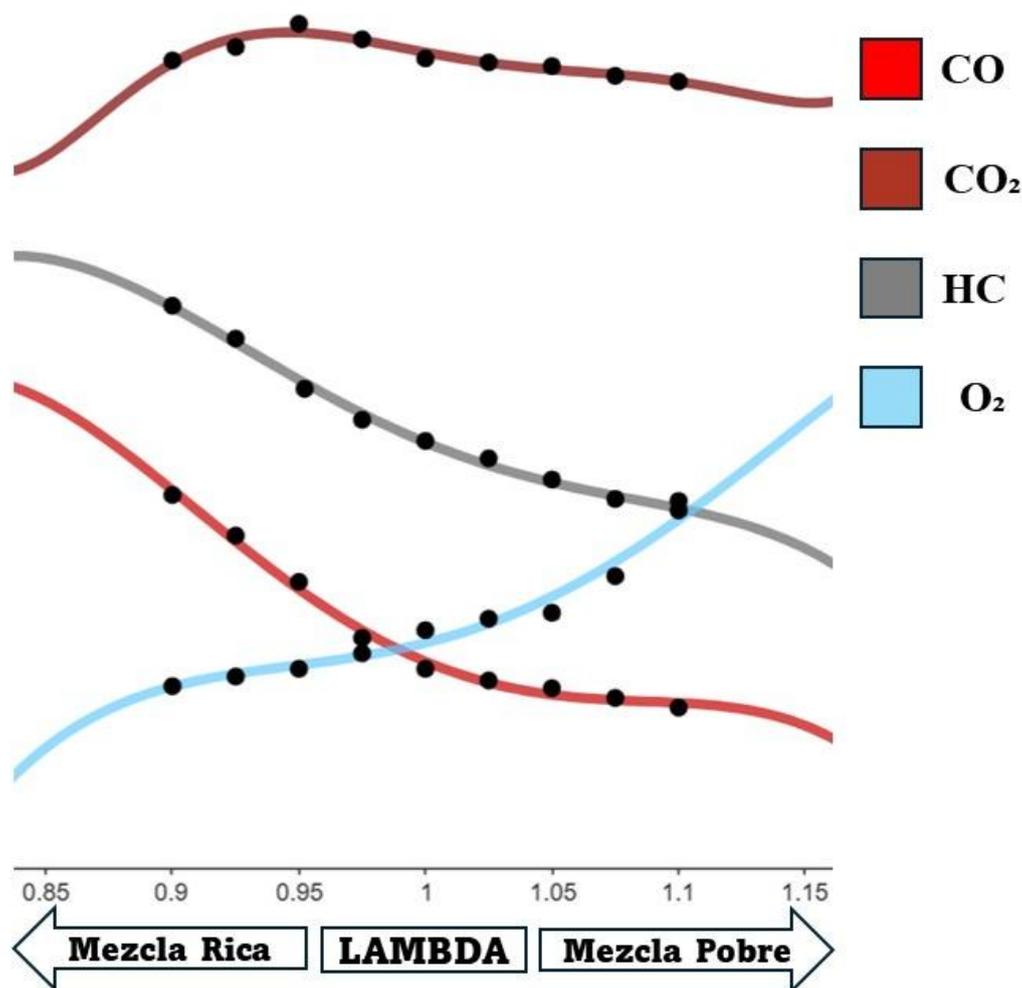
<b>Modificación del lambda - 0,025</b>															
% CO				% CO <sub>2</sub>				Ppm HC				% O <sub>2</sub>			
0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm	
Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.
1,19	< 1	1,06	< 1	12,29		12,66		232	< 250	113	< 250	2,11	< 3	1,61	< 3
<b>Modificación del lambda - 0,050</b>															
% CO				% CO <sub>2</sub>				Ppm HC				% O <sub>2</sub>			
0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm	
Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.
1,48	< 1	1,26	< 1	12,37		12,77		248	< 250	118	< 250	2,03	< 3	0,95	< 3
<b>Modificación del lambda - 0,075</b>															
% CO				% CO <sub>2</sub>				Ppm HC				% O <sub>2</sub>			
0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm	
Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.
1,72	< 1	1,52	< 1	12,25		12,72		284	< 250	132	< 250	1,99	< 3	1,50	< 3
<b>Modificación del lambda - 0,10</b>															
% CO				% CO <sub>2</sub>				Ppm HC				% O <sub>2</sub>			
0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm		0-1 500 rpm		1500-3000 rpm	
Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.	Valor	Instr.
1,93	< 1	1,69	< 1	12,18		12,66		291	< 250	146	< 250	1,94	< 3	1,46	< 3

En la figura 75 presenta una gráfica que ilustra el comportamiento de las emisiones de gases contaminantes en función del valor lambda en una prueba estática en Ralentí, se logra evidenciar de mejor manera los resultados y comportamientos de las pruebas realizadas, los porcentajes de monóxido de carbono (CO) y de hidrocarburos (HC) presentan una línea de tendencia similar, a medida que la mezcla se empobrece los valores disminuyen, por otro lado, el porcentaje de oxígeno (O<sub>2</sub>) es opuesto a los gases

anteriores, a medida que la mezcla es más pobre este se incrementa, en cuanto al dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), su comportamiento difiere del de los otros gases, sube hasta alcanzar un punto máximo y posteriormente empieza a disminuir.

**Figura 75**

*Comportamiento de emisiones en prueba estática en Ralentí.*



La Figura 76 presenta los resultados obtenidos de una prueba estática realizada con una velocidad del motor de aproximadamente 2500 rpm. En esta gráfica se confirma que las tendencias y comportamientos de las emisiones de gases contaminantes son similares a los observados en la prueba realizada en ralentí, tal como se muestra en la Figura 75.

No obstante, se aprecia una diferencia significativa en los valores correspondientes al porcentaje de partículas de hidrocarburos (HC). Aunque la tendencia general de estos valores sigue siendo la misma, los porcentajes de hidrocarburos



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- La identificación de los parámetros modificables evidenció que el software HP Tuners, específicamente en la opción Motor, organiza sus funciones en varios segmentos de trabajo claramente definidos: General, Ralentí, Flujo de aire, Escape, Combustible, Chispa y Torque. En el segmento General se configuran aspectos fundamentales del motor, tales como el tipo de motor, el número de cilindros, el volumen por cilindro y otros parámetros esenciales para la correcta identificación y funcionamiento. El segmento Ralentí permite ajustar el valor de las revoluciones por minuto (rpm) en función de la temperatura del motor, así como modificar los valores de adaptación del ralentí y su comportamiento en relación con el flujo de aire, optimizando la estabilidad del motor en condiciones variables. El apartado Flujo de aire proporciona acceso a la calibración y ajuste de sensores críticos como el IAT, MAP y MAF, además de definir las condiciones de funcionamiento del flujo de aire dinámico y su interacción con el sistema del acelerador electrónico. En el segmento Escape se pueden establecer los valores mínimos y máximos para la activación o desactivación del autodiagnóstico de la válvula EGR. La sección Combustible es una de las más completas y relevantes, ya que contempla la mayor cantidad de parámetros modificables. Aquí es posible ajustar el valor de la mezcla estequiométrica, el control de inyección tanto en lazo abierto como en lazo cerrado, los valores Lambda en función de la temperatura y el flujo de aire, así como los límites para los cortes de inyección, entre otros, todos ellos determinantes para la eficiencia y el rendimiento del motor. En el segmento Chispa se configuran los parámetros relacionados con el avance o retardo de la chispa, permitiendo su ajuste en función de la información proporcionada por el sensor de detonación (knock sensor). Finalmente, el segmento Torque permite definir valores específicos para calcular el torque requerido durante las fases de aceleración y desaceleración del motor. Esta estructura modular y detallada del software HP Tuners facilita una calibración precisa y personalizada, permitiendo a los usuarios adaptar el comportamiento del motor a sus necesidades específicas y optimizar tanto el rendimiento como la eficiencia del vehículo.
- Para lograr una reducción en los porcentajes de los gases contaminantes, fue necesario ajustar tanto el valor de la mezcla estequiométrica como los valores de Lambda en los mapas de programación de la ECU, tanto en lazo abierto como en lazo cerrado. Específicamente, se incrementó el valor de Lambda en 0,025 con el objetivo de

empobrecer la mezcla de combustible, mientras que, para enriquecerla, se redujo dicho valor. Estos ajustes se realizaron de manera progresiva y controlada, permitiendo observar y analizar detalladamente los efectos de cada variación en los resultados obtenidos durante las pruebas de emisión de gases. Este enfoque gradual facilitó la identificación de los parámetros óptimos para cumplir con los estándares de emisiones, asegurando al mismo tiempo el correcto funcionamiento del motor.

- Los resultados obtenidos en la prueba posterior a la modificación de parámetros indican que al empobrecer la mezcla (aumentar el valor lambda), los porcentajes de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y de hidrocarburos (HC) disminuyen, siguiendo una tendencia descendente similar. En contraste, el porcentaje de oxígeno (O<sub>2</sub>) aumenta conforme la mezcla se vuelve más pobre, mostrando un comportamiento opuesto al de CO, CO<sub>2</sub> y HC. Estos resultados evidencian la influencia directa del ajuste de la mezcla aire-combustible sobre la composición de los gases emitidos.

- Los resultados obtenidos al enriquecer la mezcla (reducir el valor lambda), los porcentajes de monóxido de carbono (CO), y de hidrocarburos (HC) se incrementan, siguiendo una misma tendencia. Sin embargo, se destaca una diferencia significativa en los niveles de hidrocarburos (HC), los cuales son notablemente menores a mayor velocidad del motor. Por su parte, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) exhibe una tendencia diferente: su concentración incrementa hasta alcanzar un valor máximo, después del cual comienza a descender. Además, el porcentaje de oxígeno (O<sub>2</sub>) disminuye en función de una mezcla más rica. Esto resalta la necesidad de considerar tanto la mezcla aire-combustible como la velocidad del motor para obtener mejores resultados en la reducción de emisiones.

## 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar investigaciones más profundas y comparativas sobre la aplicación de los distintos segmentos de calibración del software HP Tuners, enfocándose en la modificación de parámetros que afectan directamente las emisiones de gases contaminantes. Particularmente, es importante explorar alternativas a la programación tradicional del valor lambda, evaluando cómo otros ajustes en mezcla, inyección, chispa y control de flujo de aire pueden contribuir a optimizar la combustión y reducir emisiones. Además, se sugiere incorporar pruebas dinámicas, garantizando soluciones que cumplan con las regulaciones ambientales vigentes.
- Verificar que la modificación de los parámetros se ejecute correctamente mediante pruebas en diversas condiciones de funcionamiento del motor, incluyendo variaciones de temperatura y diferentes regímenes de revoluciones por minuto (rpm). Este enfoque permitirá evaluar el comportamiento real del motor bajo escenarios representativos, garantizando la estabilidad, eficiencia y cumplimiento de normativas de emisiones. Además, se sugiere utilizar herramientas de diagnóstico y registro de datos, para monitorear en tiempo real los efectos de los ajustes y facilitar la identificación de posibles ajustes adicionales necesarios para optimizar el rendimiento y la confiabilidad del sistema.
- Se recomienda considerar que la modificación del valor lambda tiene un impacto directo y significativo en las concentraciones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrocarburos (HC) y oxígeno (O<sub>2</sub>) en los gases de escape. No obstante, es fundamental reconocer que el comportamiento de cada uno de estos gases responde de manera independiente a los cambios en la mezcla aire-combustible, debido a las diferentes reacciones químicas y procesos de combustión involucrados. Por ello, se sugiere realizar un análisis detallado y segmentado de cada contaminante al ajustar el valor lambda, para optimizar la combustión y minimizar emisiones sin comprometer el rendimiento del motor. Además, futuras investigaciones deberían explorar estrategias complementarias que consideren estos comportamientos individuales para desarrollar calibraciones más precisas y eficientes en el control de emisiones.

## REFERENCIAS

- [1] E. Letyagina, «On Assessing the Impact of Automotive Transport on the Environment of Urban Agglomerations Using the Krasnoyarsk Territory as an Example», *Transp. Res. Procedia*, vol. 68, pp. 505-510, ene. 2023, doi: 10.1016/j.trpro.2023.02.068.
- [2] J. C. Rocha, L. E. Tipanluisa, V. D. Zambrano, y Á. A. Portilla, «Estudio de un Motor a Gasolina en Condiciones de Altura con Mezclas de Aditivo Orgánico en el Combustible», *Inf. Tecnológica*, vol. 29, n.º 5, pp. 325-334, oct. 2018, doi: 10.4067/S0718-07642018000500325.
- [3] K. D. Patel, D. Subedar, y F. Patel, «Design and development of automotive catalytic converter using non-nobel catalyst for the reduction of exhaust emission: A review», *Mater. Today Proc.*, vol. 57, pp. 2465-2472, ene. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.03.350.
- [4] D. Pérez, «Estudio De Emisiones Contaminantes Utilizando Combustibles Locales», *INNOVA*, vol. 3, pp. 23-34, 2018, doi: <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n3.2018.635>.
- [5] R. S. L. Japa, J. L. M. Ortega, y R. W. C. Urgiles, «Predicción de emisiones de CO y HC en motores Otto mediante redes neuronales», *Ingenius*, n.º 23, Art. n.º 23, 2020, doi: 10.17163/ings.n23.2020.03.
- [6] J. C. Leguísamo Milla y S. F. Celi Ortega, «Estudio De Emisiones Contaminantes Producidas Por Un Motor MEP Con Transmisión Automática Y Transmisión Manual», *INNOVA*, vol. 3, n.º 4, pp. 120-128, 2018.
- [7] F. Rosero, N. Fonseca, J.-M. López, y J. Casanova, «Effects of passenger load, road grade, and congestion level on real-world fuel consumption and emissions from compressed natural gas and diesel urban buses», *Appl. Energy*, vol. 282, p. 116195, ene. 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.116195.
- [8] C. A. Montero y F. B. Paguay, «Estudio e implementación de un sistema de inyección electrónica programable para el aumento del rendimiento y disminución de gases de escape contaminantes en un vehículo Suzuki Forza GA», bachelorThesis, 2021. Accedido: 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21080>
- [9] C. J. Gadway y C. M. Monar, «Utilización de software automotriz para la reducción de emisiones contaminantes de un vehículo a inyección electrónica mediante la modificación de la memoria flash sin afectar su torque y potencia en la ciudad de Riobamba», jul. 2021, Accedido: 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15396>
- [10] J. E. Guasumba, V. A. Garay-Cisneros, J. M. Solís-Santamaria, y J. C. Jima-Matailo, «Análisis del sistema de inyección electrónica de combustible para motor de combustión interna respecto a sus fallas y mantenimiento», *Polo Conoc.*, vol. 6, n.º 1, Art. n.º 1, ene. 2021, doi: 10.23857/pc.v6i1.2167.
- [11] J. D. Sandovalin, E. D. Correa-Sacan, J. E. Guasumba-Maila, y D. A. Calero-Torres, «Los sistemas de Inyección Electrónicos y el Control de Gases», *Polo Conoc.*, vol. 7, n.º 4, Art. n.º 4, abr. 2022, doi: 10.23857/pc.v7i4.3828.
- [12] Secretaría Nacional de Planificación, «PLAN DE CREACIÓN DE OPORTUNIDADES». 2021. Accedido: 6 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado\\_compressed.pdf](https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado_compressed.pdf)
- [13] M. J. Agüero, M. Colman, F. Dubois, M. Rabadán, y S. Amarilla, «Sistema de interacción con la ECU de un automóvil empleando procesamiento de lenguaje natural», presentado en XXI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación

- (Junín, 2015), 2015. Accedido: 20 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/50538>
- [14] B. M. Puma, «Elaboración de un dispositivo de diagnóstico OBD II Capaz de infiltrarse en tiempo real con el almacenamiento DTC de la Ecu mediante conexión remota», masterThesis, 2022. Accedido: 20 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12634>
- [15] E. Sanchez, *Sistemas Auxiliares del Motor GM 2008 pack*. MacMillan, 2008.
- [16] F. A. Quito y P. D. Sarango, «Diseño e implementación de un prototipo IOT de adquisición de datos de OBD-II con monitoreo web server para análisis de detección de fallas», bachelorThesis, 2021. Accedido: 20 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20772>
- [17] P. G. Encalada y M. F. Rojas, «Sistema electrónico para monitorización y control de un prototipo de un auto eléctrico BIPLAZA UTA-CIM17», bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, 2019. Accedido: 20 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/30121>
- [18] L. Amaguaña y J. Salazar, «PROCESO DE SINCRONIZACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE COMPUTADORES ME17 DE SAIL MEDIANTE PROTOCOLO J2534 Y MODIFICACIÓN DE ARCHIVOS DE MEMORIA», Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/13905/2/04%20MAUT%20215%20TESIS%20GRADO.pdf>
- [19] Amazon, «Software HPTuners». [En línea]. Disponible en: <https://www.amazon.com/-/es/sintonizador-emparejamiento-Bluetooth-funciones-universales/dp/B0BFRZ5LTL#:~:text=HPT.,del%20veloc%C3%ADmetro%20y%20muchos%20m%C3%A1s>.
- [20] E. A. Villuendas, «Propuesta de analizador de gases automotrices de bajo costo con datos del sistema OBDII», oct. 2019, Accedido: 20 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/17031>
- [21] Globaltech Ecuador, «Analizador de Gases». [En línea]. Disponible en: <https://globaltech-car.com/producto/analizador-de-gases-brain-bee-modelo-ags-688/>
- [22] «NTE-INEN-2204-R2 (2017ENE).pdf».
- [23] «ANT ANEXO I.pdf».
- [24] «NTE INEN 2204: Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina». Accedido: 30 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ia802909.us.archive.org/12/items/ec.nte.2204.2002/ec.nte.2204.2002.pdf>
- [25] Asamblea Nacional, «Constitucion de la Republica del Ecuador». 2008. Accedido: 6 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador\\_act\\_ene-2021.pdf](https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf)
- [26] Asamblea Nacional, «CODIGO\_ORGANICO\_AMBIENTE.pdf». 2017. Accedido: 6 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO\\_ORGANICO\\_AMBIENTE.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf)
- [27] Usa-auto-online, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://usa-auto-online.com/en/auction/36116923-CHEVROLET-TAHOE>
- [28] HPTuners, *HPTuners*. (2025).

















### Anexo 9. Prueba de emisión de gases.



### Anexo 10. Tabla de prueba de emisión de gases Centro RTV Ibarra.

PRUEBA DE GASES (Equipo: 20576)										REPUESTO	7 47
Temperatura		RPM	Monóxido de Carbono (CO)		Oxígeno (O <sub>2</sub> )		Hidrocarburos (HC)		Lambda	RESULTADO	
Inicial	66	Baja 760	Valor	Instructivo	Valor	Instructivo	Valor	instructivo			
Final		Alta 2390	0.47	< 1 %	0.9	< 3 %	203	< 250 ppm		OK	
			0.57	< 1 %	1	< 3 %	195	< 250 ppm			
PRUEBA DE OPACIDAD											
Temperatura °C		RPM Ralenti	RPM Gobernada		Valor (%)		Instructivo (%)		RESULTADO		
TAXIMETRO											
REFERENCIA COMERCIAL DE LA LLANTA			ERROR EN DISTANCIA			VALOR REFERENCIA		RESULTADO			