



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**  
*Powered by Arizona State University*

**FACULTAD DE INGENIERÍAS APLICADAS Y  
DESARROLLO INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**Conversión de un Sistema Carburado a Inyección  
Electrónica en un Chevrolet Trooper Año 1993**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**Autor:** Andrade Zambrano, Hugo Santiago

**Tutor:** Gómez-Berrezueta, Manuel Fernando

GUAYAQUIL  
2026

### **Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular**

Yo Manuel Fernando Gómez Berrezueta, en calidad de tutor del Trabajo de Integración Curricular denominado: Conversión de un sistema carburado a inyección electrónica en un Chevrolet Trooper Año 1993, realizado por Hugo Santiago Andrade Zambrano ha sido orientado y revisado en todas sus partes y considero que cumple los requisitos establecidos por la institución. En virtud de ello doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Manuel Fernando Gómez Berrezueta

Tutor del Trabajo de Integración Curricular

### **Declaración de autoría y cesión de derechos**

Yo, Hugo Santiago Andrade Zambrano declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, Reglamento y Leyes.

Autor: Hugo Santiago Andrade Zambrano

C.I.: 093117514-5

### **Dedicatoria**

.Dedico el presente proyecto de titulación a mi familia, por ser el pilar fundamental de apoyo durante todo mi proceso de formación académica y profesional. Su confianza, paciencia y motivación constante han sido determinantes para alcanzar este objetivo. De manera especial, dedico este trabajo a quienes creyeron en mí incluso en los momentos de mayor dificultad, recordándome que el esfuerzo, la constancia y la disciplina siempre conducen a resultados significativos.

Asimismo, dedico este proyecto a todas las personas que valoran el conocimiento técnico y la innovación como herramientas para el desarrollo personal y profesional, y que inspiran a seguir contribuyendo al avance de la ingeniería automotriz.

### **Agradecimiento**

Expreso mi sincero agradecimiento a la institución y a la carrera de Ingeniería Automotriz, por brindarme la formación académica y técnica necesaria para el desarrollo de este proyecto de titulación. Mi gratitud especial a los docentes que, con su conocimiento y experiencia, contribuyeron de manera directa a fortalecer mis competencias profesionales.

De manera particular, agradezco a mi tutor Ing. Fernando Gómez Berrezueta por su guía, acompañamiento y valiosos aportes técnicos durante el desarrollo de este trabajo. Su orientación fue fundamental para estructurar y validar cada una de las etapas del proyecto.

Finalmente, agradezco a mi familia y amigos por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante, los cuales fueron clave para culminar satisfactoriamente este proceso académico..

## Índice de contenido

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| Carátula .....                                                      | I   |
| Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular .....    | II  |
| Declaración de autoría y cesión de derechos .....                   | III |
| Dedicatoria .....                                                   | IV  |
| Agradecimiento .....                                                | V   |
| Índice de contenido .....                                           | VI  |
| Índice de tablas .....                                              | IX  |
| Índice de figuras .....                                             | X   |
| Resumen.....                                                        | 1   |
| Abstract .....                                                      | 2   |
| Introducción .....                                                  | 3   |
| Capítulo I .....                                                    | 5   |
| Antecedentes .....                                                  | 5   |
| 1.1 Tema .....                                                      | 5   |
| 1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema ..... | 5   |
| 1.2.1 <i>Planteamiento del problema</i> .....                       | 5   |
| 1.2.2 <i>Formulación del problema</i> .....                         | 6   |
| 1.2.3 <i>Sistematización del problema</i> .....                     | 6   |
| 1.3 Objetivos de la investigación .....                             | 6   |
| 1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....                                 | 6   |
| 1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....                            | 7   |
| 1.4 Justificación y delimitación de la investigación .....          | 7   |
| 1.4.1 <i>Justificación teórica</i> .....                            | 7   |
| 1.4.2 <i>Justificación metodológica</i> .....                       | 8   |
| 1.4.3 <i>Justificación práctica</i> .....                           | 8   |
| 1.4.4 <i>Delimitación temporal</i> .....                            | 9   |
| 1.4.5 <i>Delimitación geográfica</i> .....                          | 9   |

|                                    |                                                                |    |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----|
| 1.4.6                              | <i>Delimitación del contenido</i>                              | 9  |
| Capítulo II                        |                                                                | 11 |
| Marco referencial                  |                                                                | 11 |
| 2.1.1                              | <i>Marco teórico</i>                                           | 11 |
| 2.1.2                              | <i>Conceptos preliminares</i>                                  | 11 |
| 2.1.3                              | <i>Carburación versus inyección</i>                            | 12 |
| 2.1.4                              | <i>Relación aire–combustible</i>                               | 13 |
| 2.1.5                              | <i>Sistemas de inyección adaptativa</i>                        | 13 |
| 2.1.6                              | <i>Inyección programable y criterios de selección</i>          | 14 |
| Capítulo III                       |                                                                | 20 |
| Metodología                        |                                                                | 20 |
| 3.1                                | Enfoque Metodológico                                           | 21 |
| 3.2                                | Diseño de la Investigación                                     | 22 |
| 3.3                                | Materiales y herramientas                                      | 22 |
| 3.3.1                              | <i>Equipos principales</i>                                     | 22 |
| 3.3.2                              | <i>Herramientas auxiliares</i>                                 | 22 |
| 3.4                                | Procedimiento técnico paso a paso                              | 23 |
| 3.4.1                              | <i>Fase 1: Diagnóstico y análisis del sistema a carburador</i> | 23 |
| 3.4.2                              | <i>Fase 2: Preparación del vehículo para la conversión</i>     | 23 |
| 3.4.3                              | <i>Fase 3: Instalación del sistema Holley Sniper EFI 2300</i>  | 26 |
| 3.4.4                              | <i>Fase 4: Configuración y calibración del sistema EFI</i>     | 27 |
| 3.4.5                              | <i>Fase 5: Pruebas de desempeño con inyección electrónica</i>  | 28 |
| 3.4.6                              | <i>Fase 6: Análisis comparativo de resultados</i>              | 29 |
| 3.5                                | Variables de estudio                                           | 30 |
| 3.6                                | Validación del estudio                                         | 30 |
| 3.7                                | Consideraciones de seguridad                                   | 30 |
| Capítulo IV                        |                                                                | 31 |
| Análisis y discusión de resultados |                                                                | 31 |

|              |                                                                                                    |           |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4.1</b>   | <b>Resultados obtenidos con el sistema a carburador .....</b>                                      | <b>31</b> |
| <b>4.2</b>   | <b>Resultados obtenidos con el sistema de inyección electrónica (Holley Sniper EFI 2300) .....</b> | <b>32</b> |
| <b>4.3</b>   | <b>Análisis comparativo de curvas de potencia .....</b>                                            | <b>33</b> |
| <b>4.4</b>   | <b>Descripción del análisis de rendimiento basado en curvas de potencia y torque 33</b>            |           |
| <b>4.5</b>   | <b>Interpretación técnica de las curvas de potencia y torque .....</b>                             | <b>34</b> |
| <b>4.5.1</b> | <b><i>Sistema a carburador (condición inicial) .....</i></b>                                       | <b>34</b> |
| <b>4.5.2</b> | <b><i>Sistema de inyección electrónica.....</i></b>                                                | <b>35</b> |
| <b>4.6</b>   | <b>Tablas comparativas de resultados .....</b>                                                     | <b>36</b> |
| <b>4.7</b>   | <b>Discusión de resultados .....</b>                                                               | <b>37</b> |
|              | <b>Conclusiones .....</b>                                                                          | <b>39</b> |
|              | <b>Recomendaciones .....</b>                                                                       | <b>40</b> |
|              | <b>Referencias .....</b>                                                                           | <b>41</b> |

**Índice de tablas**

|                |                                                |    |
|----------------|------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> | Comparación de resultados en dinamómetro ..... | 36 |
|----------------|------------------------------------------------|----|

## Índice de figuras

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> Estructura del carburador .....                                 | 6  |
| <b>Figura 2</b> Comparación entre motores .....                                 | 12 |
| <b>Figura 3</b> Sistemas de alimentación .....                                  | 13 |
| <b>Figura 4</b> Sistemas de inyección adaptativa.....                           | 14 |
| <b>Figura 5</b> Sistema de inyección .....                                      | 15 |
| <b>Figura 6</b> Holley Sniper EFI 2300 .....                                    | 17 |
| <b>Figura 7</b> Dinamómetro Mustang MD-500.....                                 | 19 |
| <b>Figura 8</b> Dinamómetro de chasis Mustang MD-500 .....                      | 20 |
| <b>Figura 9</b> Pruebas en dinamómetro.....                                     | 21 |
| <b>Figura 10</b> Adaptación del sistema de combustible .....                    | 24 |
| <b>Figura 11</b> Adaptación del cable del acelerador.....                       | 24 |
| <b>Figura 12</b> Adaptación de sensor de temperatura.....                       | 24 |
| <b>Figura 13</b> Fabricación de base de aluminio para acoplar el sistema.....   | 25 |
| <b>Figura 14</b> Conexión a negativo de bobina para pulsos.....                 | 25 |
| <b>Figura 15</b> Sistema Holley Sniper.....                                     | 25 |
| <b>Figura 16</b> Adaptación del múltiple de admisión .....                      | 26 |
| <b>Figura 17</b> Adaptación del cable del acelerador.....                       | 26 |
| <b>Figura 18</b> Cambio de bobina (Ford F150).....                              | 27 |
| <b>Figura 19</b> Configuración del sistema EFI .....                            | 27 |
| <b>Figura 20</b> Calibración del sistema EFI .....                              | 28 |
| <b>Figura 21</b> Pruebas de desempeño .....                                     | 29 |
| <b>Figura 22</b> Reprogramación del sistema EFI.....                            | 29 |
| <b>Figura 23</b> Pruebas de desempeño en dinamómetro.....                       | 31 |
| <b>Figura 24</b> Protocolo experimental .....                                   | 32 |
| <b>Figura 25</b> Curvas obtenidas con el sistema a carburador .....             | 35 |
| <b>Figura 26</b> Curvas obtenidas con el sistema de inyección electrónica ..... | 36 |

## **Resumen**

El presente proyecto de titulación evalúa el impacto de la conversión de un sistema de alimentación carburado a un sistema de inyección electrónica en un Chevrolet Trooper año 1993, con el objetivo de analizar su influencia en el rendimiento del motor. Inicialmente, se realizó un diagnóstico técnico del sistema de carburación original, identificando sus limitaciones en la dosificación de combustible y estabilidad operativa. Posteriormente, se llevó a cabo la instalación de un sistema de inyección electrónica programable Holley Sniper EFI 2300, integrando sensores, actuadores y una unidad de control electrónico para una gestión precisa del combustible. Para validar la efectividad de la conversión, se realizaron pruebas comparativas de desempeño en un dinamómetro de chasis Mustang MD-500, obteniendo curvas de potencia y torque antes y después de la implementación del sistema EFI. Los resultados evidenciaron un incremento significativo en la potencia máxima y promedio, así como una mejora en la estabilidad de la mezcla aire–combustible y en la calidad de entrega del torque. El estudio demuestra que la inyección electrónica constituye una alternativa técnica viable para modernizar motores carburados, mejorando su eficiencia, rendimiento y confiabilidad.

*Palabras clave:* Inyección electrónica, Carburador, Rendimiento del motor.

### **Abstract**

This graduation project evaluates the impact of converting a carbureted fuel system to an electronic fuel injection system in a 1993 Chevrolet Trooper, with the aim of analyzing its influence on engine performance. Initially, a technical diagnosis of the original carburetor system was carried out, identifying its limitations in fuel metering and operational stability. Subsequently, a Holley Sniper EFI 2300 programmable electronic fuel injection system was installed, integrating sensors, actuators, and an electronic control unit to achieve precise fuel management. To validate the effectiveness of the conversion, comparative performance tests were conducted using a Mustang MD-500 chassis dynamometer, obtaining power and torque curves before and after the implementation of the EFI system. The results showed a significant increase in maximum and average power, as well as improved air–fuel mixture stability and torque delivery quality. The study demonstrates that electronic fuel injection is a technically viable alternative for modernizing carbureted engines, improving their efficiency, performance, and reliability.

Keywords: Electronic fuel injection, Carburetor, Engine performance

## Introducción

La evolución de los sistemas de alimentación de combustible en los motores de combustión interna ha representado un avance significativo en términos de eficiencia, rendimiento y control de emisiones. No obstante, una gran cantidad de vehículos fabricados en décadas anteriores continúan operando con sistemas carburados, los cuales presentan limitaciones inherentes relacionadas con la dosificación mecánica del combustible, la sensibilidad a las condiciones ambientales y la falta de adaptabilidad ante variaciones de carga y régimen de operación.

En este contexto, el presente proyecto de titulación dio respuesta al problema planteado mediante la conversión de un sistema carburado a un sistema de inyección electrónica en un Chevrolet Trooper año 1993. La investigación abordó de manera práctica y experimental la implementación de un sistema de inyección electrónica programable, evaluando su impacto directo en el rendimiento del motor. A través de pruebas controladas y mediciones objetivas, se logra demostrar que la gestión electrónica del combustible permite superar las limitaciones del carburador, ofreciendo una combustión más eficiente y un comportamiento del motor más estable.

El alcance de los objetivos planteados se cumple de forma satisfactoria. En primer lugar, se realizó un análisis detallado del sistema de carburación original, identificando sus características, estado operativo y restricciones técnicas, lo cual permitió asegurar una instalación segura y adecuada del kit Holley Sniper EFI 2300. Posteriormente, se ejecutó la instalación completa del sistema de inyección electrónica, integrando sensores, actuadores y una unidad de control electrónico, siguiendo un procedimiento técnico estandarizado. Finalmente, se compara el desempeño del motor antes y después de la conversión mediante pruebas en dinamómetro, permitiendo evaluar de manera cuantitativa las variaciones en potencia y torque bajo condiciones controladas.

Durante el desarrollo del trabajo se presenta la disponibilidad de equipamiento especializado, como el dinamómetro de chasis Mustang MD-500 y el acceso a un sistema de inyección electrónica diseñado específicamente para aplicaciones retrofit. Estas condiciones

permitieron obtener datos confiables y reproducibles. También se enfrentaron ciertas limitantes, tales como la necesidad de adaptar componentes del sistema de combustible original para operar a mayor presión, la calibración inicial del sistema EFI. A pesar de ello, dichas limitaciones fueron gestionadas mediante una planificación adecuada y la aplicación de criterios técnicos fundamentados.

La metodología utilizada en el proyecto se basó en un enfoque experimental y comparativo, estructurado en fases claramente definidas. Estas incluyeron el diagnóstico inicial del vehículo, la preparación del sistema de alimentación, la instalación y configuración del sistema de inyección electrónica, la ejecución de pruebas de rendimiento en dinamómetro y el análisis comparativo de los resultados obtenidos.

El documento se organiza en capítulos que facilitan la comprensión integral del proyecto. El primer capítulo presenta la introducción, el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación de la investigación. El segundo capítulo desarrolla el marco teórico, abordando los fundamentos de los sistemas carburados y de inyección electrónica, así como estudios previos relacionados. El tercer capítulo describe la metodología aplicada, detallando los procedimientos técnicos empleados. El cuarto capítulo expone los resultados obtenidos, su análisis y discusión.

Desde el ámbito académico, el proyecto fortalece la formación práctica en ingeniería automotriz y contribuye al desarrollo de estudios aplicados orientados a la modernización de tecnologías existentes. Para los usuarios y el sector automotriz, demuestra la viabilidad técnica de la conversión a inyección electrónica como una alternativa para mejorar el rendimiento y la eficiencia de vehículos antiguos. A nivel social y ambiental, la investigación promueve el uso más eficiente de los recursos energéticos y la reducción potencial de emisiones contaminantes, contribuyendo a una movilidad más sostenible.

En conclusión, esta investigación no solo responde de manera efectiva al problema planteado, sino que también evidencia el valor de la aplicación de tecnologías modernas en sistemas tradicionales, consolidándose como un aporte técnico relevante en el campo de la ingeniería automotriz.

## Capítulo I

### Antecedentes

#### 1.1 Tema

Conversión de un sistema carburado a inyección electrónica en un Chevrolet Trooper Año 1993.

#### 1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema

La problemática de la contaminación del aire provocada por las emisiones de los vehículos se ha convertido en un tema prioritario para la sociedad actual. La diferencia entre los sistemas de alimentación de combustible, específicamente entre el carburador y la inyección electrónica, muestra variaciones importantes en la cantidad y tipo de emisiones contaminantes.

##### 1.2.1 *Planteamiento del problema*

Los vehículos carburados, aunque confiables en su época, presentan limitaciones en cuanto a consumo de combustible, emisiones contaminantes y eficiencia en distintas condiciones de operación. El Chevrolet Trooper de 1993 con motor 2.3 a gasolina es un ejemplo representativo de estas limitaciones.

La instalación de sistemas de inyección electrónica universal para motores carburados promete mejorar la eficiencia del motor al optimizar la mezcla aire-combustible, reducir emisiones, incrementar la potencia y facilitar el arranque en frío. Sin embargo, no existen suficientes estudios prácticos en Ecuador que documenten la factibilidad técnica, beneficios y posibles limitaciones de realizar este tipo de conversiones en motores antiguos.

Durante las últimas décadas, la industria automotriz ha transitado mayoritariamente del uso de carburadores hacia sistemas de inyección electrónica de combustible, debido a que estos últimos ofrecen una dosificación más precisa del combustible y una mezcla aire-combustible más homogénea, lo que mejora la eficiencia de la combustión, reduce el consumo y disminuye las emisiones contaminantes. No obstante, en muchos vehículos antiguos, como la Chevrolet Trooper 1993, aún permanece el sistema carburado original, con todas sus limitaciones — variabilidad en la mezcla aire-combustible ante cambios de carga,

altitud o temperatura, arranques en frío difíciles, mayor consumo de combustible y mayores emisiones contaminantes (Figura 1).

**Figura 1**

*Estructura del carburador*



*Fuente: (elpalaciodelcarburador.com.ec, 2025).*

### **1.2.2 Formulación del problema**

¿Cómo influye la conversión de un sistema carburado a uno de inyección electrónica en el desempeño y eficiencia del motor 2.3 del Chevrolet Trooper 1993, en comparación con su sistema original?

### **1.2.3 Sistematización del problema**

- ¿Qué mejoras se obtienen en el rendimiento del motor al implementar la inyección electrónica?
- ¿Cómo varía el consumo de combustible antes y después de la conversión?
- ¿Qué dificultades técnicas se presentan en el proceso de conversión y cómo pueden solucionarse?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

- Evaluar el impacto de la conversión de un sistema carburado a inyección electrónica en un Chevrolet Trooper 1993, analizando su influencia en el rendimiento.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Analizar el sistema de carburación del motor seleccionado para la instalación segura del kit Holley Sniper EFI 2300.
- Instalar un sistema de inyección electrónica programable, integrando sensores, actuadores y unidad de control.
- Comparar el desempeño del motor antes y después de la implementación, evaluando potencia bajo condiciones controladas en dinamómetro.

### **1.4 Justificación y delimitación de la investigación**

La incorporación de un sistema de inyección electrónica programable en motores originalmente equipados con carburador constituye una alternativa eficiente y práctica para mejorar su rendimiento y reducir emisiones sin reemplazar completamente la planta motriz. Esta conversión permite aplicar conocimientos avanzados de control electrónico del motor, gestión de combustible y calibración de parámetros en tiempo real, fortaleciendo la formación técnica del estudiante. Además, el uso de una ECU programable facilita la experimentación con distintos mapas de inyección, permitiendo analizar el impacto directo sobre la eficiencia térmica y las características de combustión del motor. Este proyecto aporta tanto al desarrollo académico como a la modernización tecnológica de motores convencionales, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y optimización energética de la ingeniería automotriz actual.

#### **1.4.1 Justificación teórica**

La inyección electrónica ha reemplazado paulatinamente a los carburadores debido a su precisión, eficiencia y capacidad de adaptarse a diferentes condiciones de operación. En los motores carburados, la mezcla aire-combustible se regula de manera mecánica, lo cual limita su precisión y genera variaciones que afectan el consumo de combustible y las emisiones contaminantes. Por el contrario, los sistemas de inyección electrónica utilizan sensores y unidades de control electrónico (ECU) que permiten ajustar en tiempo real la cantidad de combustible inyectado en función de parámetros como temperatura, presión atmosférica, oxígeno en el escape, entre otros.

Teóricamente, la inyección electrónica optimiza la relación aire-combustible en cada ciclo de combustión, lo que se traduce en un mayor aprovechamiento energético, mejores prestaciones del motor, arranques más confiables y una reducción significativa en las emisiones contaminantes, especialmente en monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no quemados (HC). Además, contribuye al cumplimiento de normativas ambientales más estrictas y permite extender la vida útil de los motores al reducir la acumulación de residuos de combustión.

La importancia de este proyecto radica en la posibilidad de aplicar tecnologías modernas a vehículos antiguos, demostrando que es viable lograr mejoras en eficiencia y sostenibilidad sin la necesidad de recurrir a motores de nueva generación. Con ello se genera un aporte académico y práctico que puede servir de base para otras investigaciones y para talleres mecánicos que busquen ofrecer soluciones de conversión a sus clientes.

Diversos estudios, como los de Bosch (2018) entre algunos otros, han demostrado que la inyección electrónica no solo mejora la potencia y el par motor, sino que también reduce significativamente las emisiones en comparación con los sistemas carburados. En este sentido, el presente proyecto se justifica en su aporte a la mitigación de problemas ambientales y en la modernización del parque automotor. Asimismo, representa una alternativa económica viable frente a la adquisición de un vehículo nuevo, permitiendo a los usuarios prolongar la vida útil de sus automóviles a través de la innovación tecnológica aplicada.

#### **1.4.2 Justificación metodológica**

La investigación se realiza bajo un enfoque experimental y comparativo, evaluando parámetros antes y después de la instalación del sistema EFI, con instrumentos de diagnóstico y pruebas controladas.

#### **1.4.3 Justificación práctica**

Desde una perspectiva práctica, la implementación de sistemas de telemetría en vehículos de carga pesada ofrece múltiples beneficios. La monitorización en tiempo real permite a los gestores de flotas tomar decisiones informadas para optimizar las operaciones,

reducir costos y mejorar la seguridad. Además, la recopilación de datos detallados sobre el desempeño del motor facilita la planificación de mantenimientos preventivos, lo que puede extender la vida útil del motor y reducir el riesgo de fallas inesperadas.

La aplicación de telemetría en el transporte de carga también contribuye a la sostenibilidad ambiental. Al mejorar la eficiencia del combustible y reducir las emisiones, se disminuye el impacto ambiental de las operaciones de transporte. Esto es especialmente relevante en el contexto actual, donde la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero es una prioridad global.

#### **1.4.4 Delimitación temporal**

El proyecto tiene previsto un tiempo de desarrollo de un periodo de 5 meses, empezando en octubre 2024 y finalizando en febrero de 2026. Se delimita este periodo dado que es el periodo académico y permite realizar las investigaciones y comparaciones mediante estudios en el tiempo establecido.

#### **1.4.5 Delimitación geográfica**

Este proyecto se lleva a cabo en Guayaquil, Ecuador.

#### **1.4.6 Delimitación del contenido**

El contenido de esta investigación se limita a la comparación del desempeño y emisiones de un motor 2.3 carburado frente a su versión adaptada a inyección electrónica.

Se considerarán aspectos como:

- Descripción técnica del sistema original y el sistema de inyección implementado.
- Procedimiento de instalación del sistema de inyección.
- Pruebas comparativas de consumo de combustible en condiciones de ralentí y operación a carga parcial.
- Evaluación del rendimiento del motor en banco de pruebas.
- Identificación de ventajas y limitaciones técnicas en la implementación.

Este trabajo no contempla pruebas de desgaste interno a largo plazo, durabilidad de componentes del sistema EFI ni estudios de comportamiento bajo condiciones extremas de operación. Tampoco incluye análisis de costos a gran escala en flotas vehiculares,

enfocándose únicamente en el caso particular del Chevrolet Trooper 1993. La delimitación garantiza un análisis concreto, práctico y replicable en condiciones similares.

Con este enfoque, se pretende ofrecer un panorama claro del impacto inmediato de la conversión, delimitando las variables de estudio a aquellas que pueden ser medidas con precisión y dentro de los recursos disponibles.

## Capítulo II

### Marco referencial

#### 2.1.1 *Marco teórico*

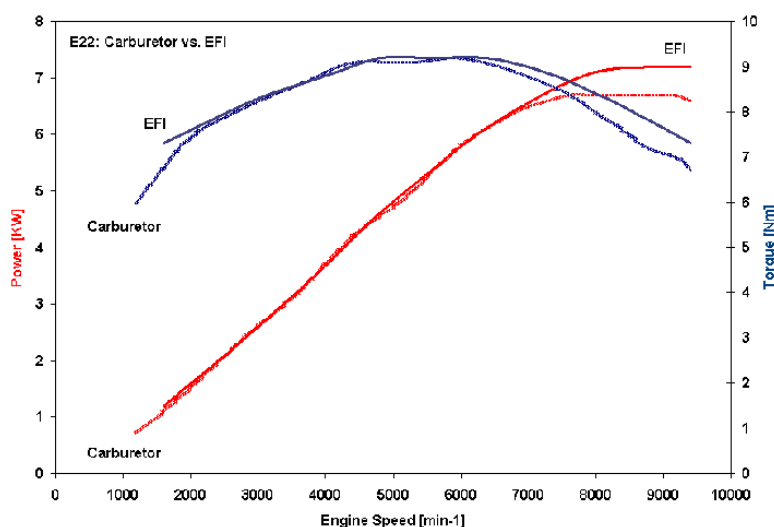
El sistema de alimentación de combustible constituye uno de los elementos más determinantes en el desempeño, eficiencia y emisiones contaminantes de un motor de combustión interna. Tradicionalmente, los motores de gasolina utilizaron el carburador como dispositivo encargado de dosificar y mezclar el aire con el combustible antes de su ingreso al cilindro. Sin embargo, este sistema presenta limitaciones en cuanto a precisión de mezcla, respuesta a diferentes condiciones de carga y cumplimiento de las normas ambientales modernas (Heywood, 2018).

#### 2.1.2 *Conceptos preliminares*

Los sistemas de alimentación de combustible en los motores de combustión interna han evolucionado significativamente, pasando de mecanismos carburados de control mecánico a sistemas de inyección electrónica gestionados por una unidad de control (ECU). Un carburador regula la mezcla aire–combustible mediante principios de presión y vacío, lo que lo hace sensible a variaciones de temperatura, altitud y carga; en contraste, la inyección electrónica emplea sensores, actuadores y algoritmos de control que dosifican el combustible con mayor precisión, optimizando la combustión, el consumo y las emisiones.

Para comprender la conversión de un sistema carburado a inyección electrónica es esencial conocer elementos como caudalímetros, inyectores, sensores de oxígeno, cuerpos de aceleración y mapas de inyección, así como los fundamentos termodinámicos que rigen la mezcla estequiométrica y el rendimiento del motor.

Estos conceptos preliminares permiten establecer la base teórica para analizar la viabilidad, eficiencia y beneficios técnicos de implementar un sistema moderno de inyección en vehículos antiguos como el Chevrolet Trooper 1993 (Figura 2).

**Figura 2***Comparación entre motores**Fuente:* (Volpato, 2008).

### 2.1.3 Carburación versus inyección

La carburación fue durante décadas el sistema más utilizado en motores de combustión interna, debido a su simplicidad mecánica y bajo costo de fabricación. Sin embargo, la falta de precisión en la dosificación de combustible representaba una desventaja significativa, especialmente en términos de emisiones contaminantes y consumo de combustible (Purwanto, 2024).

En contraste, la inyección electrónica utiliza sensores y actuadores que permiten una dosificación precisa y dinámica, ajustada a cada condición de operación del motor. Este cambio ha sido determinante para cumplir normativas ambientales más estrictas.

Con el avance de la electrónica automotriz, surgió la inyección electrónica de combustible (EFI, Electronic Fuel Injection), que reemplaza al carburador mediante un control más exacto del suministro de combustible a través de inyectores controlados por una unidad electrónica (ECU).

Este sistema permite ajustar la cantidad de combustible en función de variables como temperatura del motor, presión del colector, régimen de giro, y oxígeno residual en los gases

de escape, logrando una mezcla aire-combustible estequiométrica más estable y eficiente (Bosch, 2019).

#### **2.1.4 Relación aire-combustible**

La mezcla aire-combustible es un factor crucial en el funcionamiento del motor. Una mezcla rica (demasiado combustible) genera mayores emisiones de CO y un consumo elevado, mientras que una mezcla pobre (exceso de aire) provoca pérdida de potencia y emisiones de NOx. La relación estequiométrica ideal es de 14.7:1 en motores a gasolina. Los sistemas de inyección electrónica permiten mantener esta relación de manera mucho más estable que un carburador, incluso bajo condiciones variables como cambios de altitud, temperatura o carga del motor (Turner, 2019).

**Figura 3**

*Sistemas de alimentación*



*Fuente: (excelenciasdelmotor.com, 2021).*

#### **2.1.5 Sistemas de inyección adaptativa**

Los sistemas modernos de inyección utilizan retroalimentación de sensores como el de oxígeno (lambda), MAF (sensor de flujo de aire) y MAP (presión en el múltiple), para ajustar la cantidad de combustible inyectado en tiempo real. Este proceso, conocido como lazo

cerrado, permite que el motor opere siempre dentro de parámetros óptimos de eficiencia y bajas emisiones (Wling, 2024).

En comparación, un carburador carece de mecanismos de ajuste dinámico, lo que limita su capacidad de adaptación a cambios ambientales o de operación.

**Figura 4**

*Sistemas de inyección adaptativa*



*Fuente: (iad.la, 2025).*

### 2.1.6 ***Inyección programable y criterios de selección***

La inyección programable de combustible es una tecnología avanzada que permite al usuario controlar y ajustar el funcionamiento del sistema de inyección de combustible en un motor de combustión interna. El principio de funcionamiento de la inyección programable es similar al de la inyección electrónica, pero con la capacidad adicional de ajustar manualmente los parámetros del sistema de inyección de combustible (Galarza, 2022).

El sistema de inyección programable de combustible está compuesto por varios componentes interconectados que trabajan juntos para proporcionar una inyección de combustible precisa y controlada. Estos componentes incluyen la unidad de control del motor (ECU), los sensores del motor, los inyectores de combustible, la bomba de combustible y el regulador de presión de combustible.

## 2.2 **Marco teórico**

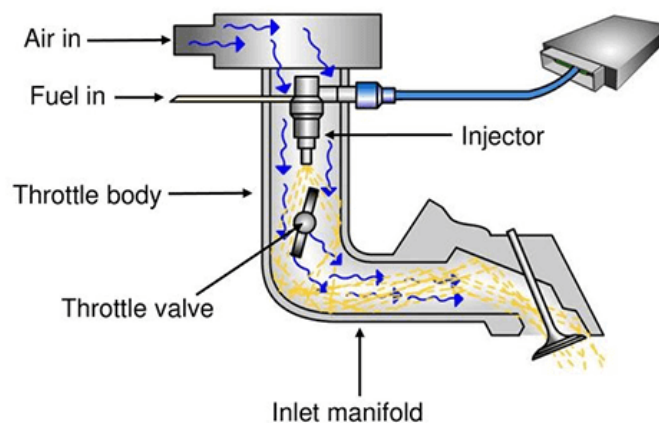
### 2.2.1 ***Componentes de los sistemas de inyección de combustible***

Los sistemas de inyección de combustible (Figura 5) se componen de muchas partes esenciales (Race, 2024):

- **Inyectores:** Herramientas precisas que dosifican el combustible con precisión en el motor. Existen varios diseños para diferentes usos.
- **Rieles de Combustible:** Son las tuberías que suministran combustible a los inyectores conservando la presión requerida.
- **Bomba de combustible:** se utilizan para transferir combustible desde los tanques a los rieles de combustible; con frecuencia vienen junto con reguladores de presión para regular la presión del combustible.
- **Unidad de control del motor (ECU):** La unidad de control del motor (ECU) es el cerebro del sistema; utiliza entradas de sensores para determinar la cantidad necesaria de combustible y el momento de las inyecciones.
- **Sensores:** La ECU recibe datos en tiempo real de una variedad de sensores, como sensores de flujo de masa de aire y de oxígeno, para permitir el control adaptativo.

**Figura 5**

*Sistema de inyección*



*Fuente: (partsouq.com, 2025).*

### **2.2.2 Sistema a carburador**

Es un dispositivo mecánico encargado de mezclar aire y combustible antes de ingresar al motor. Su funcionamiento depende de principios físicos como la presión diferencial y el efecto Venturi. Aunque fue ampliamente utilizado durante décadas, su precisión es limitada y

se ve afectada por altitud, temperatura, desgaste y variaciones de carga, lo que genera mezclas pobres o ricas que afectan el rendimiento del motor.

### **2.2.3 Curva de mezcla aire-combustible**

Representa la relación entre la cantidad de aire y combustible que ingresa al motor. En sistemas carburados esta curva suele ser variable y poco controlada, mientras que en sistemas de inyección se mantiene cercana a la relación ideal 14.7:1, favoreciendo un funcionamiento óptimo y emisión reducida de contaminantes (Estrella, 2024).

### **2.2.4 Principio de funcionamiento: carburador vs. inyección electrónica**

El carburador regula la mezcla aire-combustible mediante efecto Venturi y ajustes mecánicos, mientras que la inyección electrónica dosifica el combustible por inyectores controlados por una unidad de control (ECU), lo que permite una mezcla más precisa y adaptativa según condiciones de operación (Pundir, 2017).

Esta precisión reduce la variabilidad en la combustión y mejora la respuesta del motor frente a cambios de carga y temperatura.

### **2.2.5 Kit maestro Holley Sniper EFI 2300**

El Sniper EFI 2300 con módulo de combustible de reequipamiento de retorno. Es perfecto para cualquier vehículo que venga de serie con una brida Holley 2300, como algunos Fairlanes, Galaxies, Falcons, Comets, F100s, Javelins, Rebels, Mustangs, Thunderbirds, Cougars y más. Su precio económico le permite disfrutar de todas las ventajas de la EFI y aun así ahorrar para completar o mejorar su vehículo (kentuckymustang.com, 2025).

Estos kits combinan el cuerpo del acelerador autodidacta Sniper EFI con un módulo de combustible de reequipamiento de retorno en el tanque fácil de instalar, 12 metros de manguera de combustible Earl's Vapor Guard y los accesorios necesarios.

El sistema de combustible (Figura 6) incluido instala una bomba de combustible de 340 L/H en el tanque, lo cual se puede instalar fácilmente con herramientas manuales básicas.

**Figura 6***Holley Sniper EFI 2300**Fuente: (kentuckymustang.com, 2025).*

### **2.2.6 Características**

El sistema tiene las siguientes características:

- ECU montado en el cuerpo del acelerador: no es necesario montar cajas adicionales.
- Reemplazo de carburador con brida 2300 atornillable.
- Admite hasta 350 HP con dos inyectores de 100 lb/h.
- Equipado con palanca de reducción de transmisión Ford C4/C6, así como disposiciones TH350, 400 y 700R4.
- Se requieren 4 conexiones de cableado (Batería +, Batería -, Encendido conmutado y RPM).
- Asistente de calibración simple (se responde algunas preguntas sobre el motor y crea el mapa base, luego comienza a ajustar por sí solo).
- La ECU con ajuste automático significa que no es necesario ser un experto en computadoras o en ajuste para tener EFI.

- Incluye un sistema de combustible completo que consta de: módulo de combustible de estilo de retorno Sniper EFI Retrofit; 40 pies de manguera de combustible Vapor Guard de 3/8"; abrazaderas de manguera de acero inoxidable, un filtro posterior y varios accesorios y tapas Earls.
- El sensor de oxígeno de banda ancha Bosch LSU 4.9 original incluido proporciona información sobre mapas de combustible en tiempo real.
- Control de tiempo de encendido integrado y controlador de bobina.
- Pantalla táctil a todo color de alta resolución para configuración inicial, ajuste y visualización de indicadores.
- Regulador de presión de combustible y TPS/IAC estilo OEM, para años de servicio confiable.

#### **2.2.7 Aspectos prácticos del retrofit: pasos, dificultades y legalidad**

La experiencia práctica y las guías de conversión indican que la instalación puede requerir adaptación del chasis para soportar componentes, modificación del sistema de escape y de la gestión de la ECU; además, la legalidad (homologaciones y normativas de emisiones) y la disponibilidad de piezas para un vehículo de 1993 deben considerarse antes de ejecutar la conversión. Las conversiones exitosas siguen protocolos de instalación y prueba exhaustivos.

#### **2.2.8 Mantenimiento, diagnóstico y ventajas operativas post-conversión**

Una vez implementada la inyección electrónica, el diagnóstico y ajuste se realizan mediante herramientas ECU (lectura de parámetros y mapas), facilitando la detección de fallas y el ajuste fino; además, la reducción de intervenciones de ajuste mecánico del carburador y la posibilidad de remapear la gestión hacen que el mantenimiento predictivo sea más eficaz.

#### **2.2.9 Dinamómetro Mustang MD-500**

El Mustang Dynamometer es un equipo de diagnóstico general de avanzada:

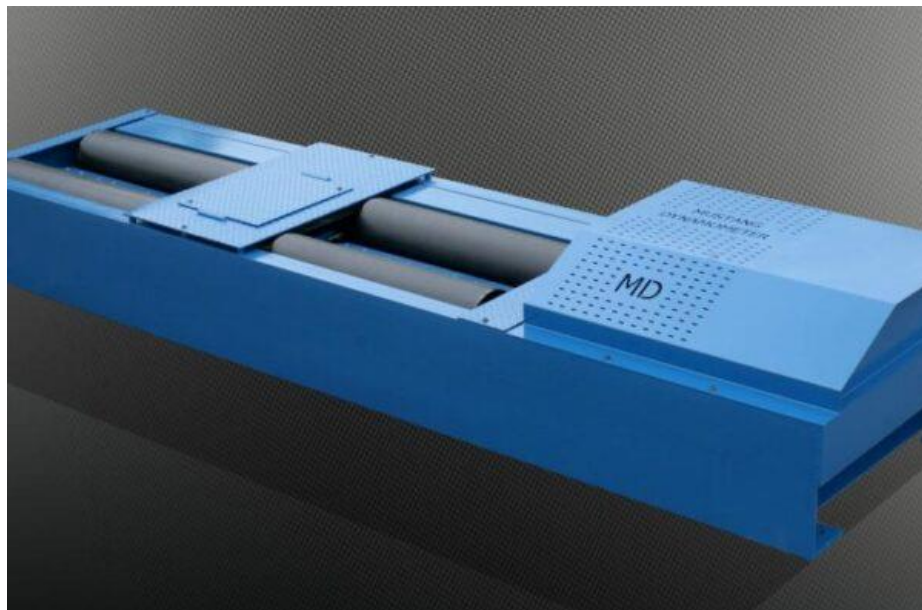
- Muestra la verdadera realidad sobre el desempeño del vehículo.
- Ideal para las pruebas de vehículos convertidos a gas natural.

- Prueba de vehículos de competencia.
- Entrenamiento para reacción de pilotos.
- Pruebas de emisiones bajo carga.
- Pruebas de nuevos desarrollos mecánicos y muchas otras.

El dinamómetro de chasis Mustang Dynamometer (Figura 7) es capaz de medir con absoluta precisión la velocidad torque y potencia.

**Figura 7**

*Dinamómetro Mustang MD-500*



*Fuente:* (autotools.com.co, 2025).

## Capítulo III

### Metodología

En el presente capítulo se describe detalladamente la metodología usada para evaluar el impacto de la conversión de un sistema carburado a un sistema de inyección electrónica en un Chevrolet Trooper año 1993.

La metodología se basa en un enfoque experimental-aplicado y comparativo, que permite analizar de forma objetiva el desempeño del motor bajo dos configuraciones de alimentación distintas.

Para garantizar la confiabilidad y repetibilidad de los resultados, se establecieron procedimientos técnicos estandarizados que incluyen la preparación del vehículo, la ejecución de pruebas controladas y el registro sistemático de datos.

Las pruebas de rendimiento se realizaron mediante un dinamómetro de chasis Mustang MD-500, equipo reconocido por su precisión en la medición de potencia y torque en condiciones reales de operación.

**Figura 8**

*Dinamómetro de chasis Mustang MD-500*



Este dinamómetro permite obtener curvas detalladas del comportamiento del motor en función del régimen de revoluciones, tanto antes como después de la implementación del sistema de inyección electrónica.

La metodología explicada en este capítulo certifica que las comparaciones realizadas se basen en datos confiables y bajo condiciones equivalentes, lo que constituye una base técnica para el análisis de resultados y la validación de los objetivos del proyecto (Estrella, 2024).

### 3.1 Enfoque Metodológico

El presente proyecto se desarrolla bajo un enfoque experimental–aplicado, ya que implica la modificación directa de un sistema real (conversión de carburación a inyección electrónica) y la evaluación cuantitativa de su impacto en el desempeño del motor.

El estudio es de tipo comparativo, dado que se analizan variables de rendimiento antes y después de la conversión, bajo condiciones controladas.

El enfoque es cuantitativo, porque se adquieren y analizan datos numéricos relacionados con potencia, comportamiento del motor y respuesta operativa mediante pruebas en dinamómetro.

**Figura 9**

*Pruebas en dinamómetro*



### **3.2 Diseño de la Investigación**

La investigación se clasifica como:

- Experimental, porque se interviene directamente en el sistema de alimentación del motor.
- Descriptiva y comparativa, al caracterizar el comportamiento del motor en dos configuraciones distintas (carburador vs. inyección electrónica).
- Aplicada, ya que busca una solución técnica real para mejorar el rendimiento de un vehículo específico.

### **3.3 Materiales y herramientas**

#### **3.3.1 Equipos principales**

- Kit Holley Sniper EFI 2300
- Unidad de Control Electrónico (ECU) integrada
- Sensores incluidos en el sistema:
- Sensor MAP
- Sensor TPS
- Sensor de temperatura del refrigerante (ECT)
- Sensor de temperatura del aire (IAT)
- Sensor de oxígeno de banda ancha (Wideband O<sub>2</sub>)
- Bomba eléctrica de combustible de alta presión
- Regulador de presión de combustible
- Dinamómetro de chasis
- Escáner y software de programación Holley

#### **3.3.2 Herramientas auxiliares**

- Multímetro
- Herramientas mecánicas convencionales
- Manómetro de presión de combustible
- Equipo de seguridad (guantes, gafas, extintor)

### 3.4 Procedimiento técnico paso a paso

#### 3.4.1 *Fase 1: Diagnóstico y análisis del sistema a carburador*

- Inspección visual y funcional del carburador original.
- Verificación del estado del sistema de admisión, vacío y encendido.
- Revisión del sistema de combustible existente (líneas, filtro y bomba mecánica).
- Registro del estado inicial del motor:

Arranque en frío

Estabilidad en ralentí

Respuesta al acelerador

- Medición de potencia base del motor mediante prueba en dinamómetro.  
Inicialmente, el vehículo fue inspeccionado mecánicamente, verificando el estado del motor, sistema de transmisión, presión de neumáticos y nivel de fluidos. Posteriormente, el motor fue llevado a su temperatura normal de operación antes de iniciar cualquier medición.
- Registro de los datos obtenidos como condición inicial de referencia.

#### 3.4.2 *Fase 2: Preparación del vehículo para la conversión*

- Desconexión del sistema eléctrico y aseguramiento del vehículo.
- Desmontaje del carburador original.
- Limpieza y preparación del múltiple de admisión.
- Eliminación o anulación de componentes innecesarios del sistema carburado.
- Adaptación del sistema de combustible para operación a alta presión:

Instalación de líneas de combustible reforzadas

Montaje de bomba eléctrica

Instalación de retorno al tanque

**Figura 10**

*Adaptación del sistema de combustible*



**Figura 11**

*Adaptación del cable del acelerador*



**Figura 12**

*Adaptación de sensor de temperatura*



**Figura 13**

*Fabricación de base de aluminio para acoplar el sistema*



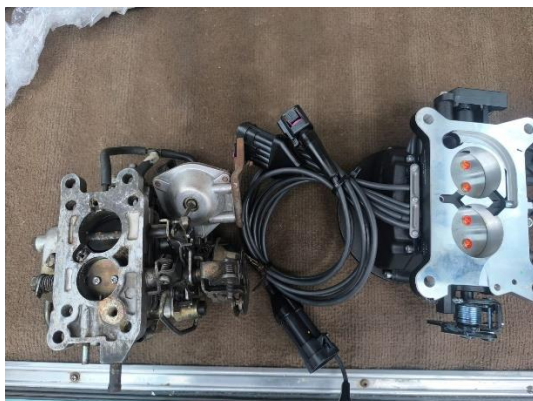
**Figura 14**

*Conexión a negativo de bobina para pulsos*



**Figura 15**

*Sistema Holley Sniper*



### 3.4.3 Fase 3: Instalación del sistema Holley Sniper EFI 2300

- Instalación física del cuerpo de inyección en el múltiple de admisión.
- Montaje y conexión de los inyectores integrados.
- Instalación de sensores: sensor O<sub>2</sub> en el sistema de escape y sensores de temperatura y presión.
- Instalación del arnés eléctrico y conexión a la ECU.
- Integración del sistema de encendido con la ECU.
- Verificación del cableado y aseguramiento de conexiones.

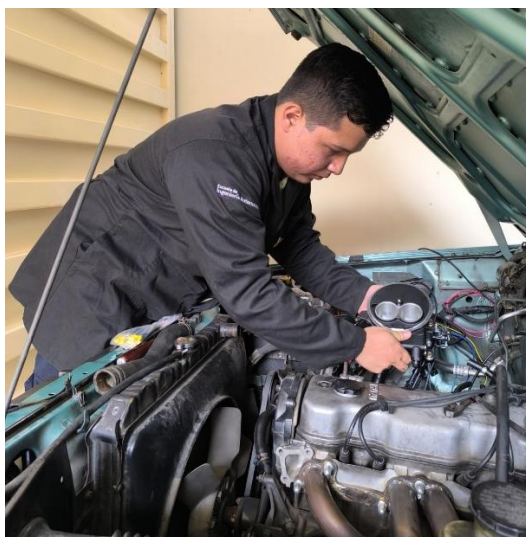
**Figura 16**

*Adaptación del múltiple de admisión*



**Figura 17**

*Adaptación del cable del acelerador*



**Figura 18***Cambio de bobina (Ford F150)***3.4.4 Fase 4: Configuración y calibración del sistema EFI**

- Configuración inicial de la ECU:

Cilindrada del motor

Tipo de combustible

Régimen de ralentí

- Arranque inicial del motor.
- Ajuste automático del mapa de inyección mediante autoaprendizaje.
- Verificación de presión de combustible y parámetros de mezcla.
- Estabilización del motor en diferentes regímenes de operación.
- Corrección de fallas iniciales y validación del funcionamiento continuo.

**Figura 19***Configuración del sistema EFI*

**Figura 20***Calibración del sistema EFI*

### **3.4.5 Fase 5: Pruebas de desempeño con inyección electrónica**

- Preparación del vehículo para pruebas en dinamómetro.
- Realización de al menos tres corridas consecutivas:

Bajo condiciones ambientales similares

Con el motor a temperatura de operación

- Registro de:

Potencia máxima.

Régimen de entrega de potencia.

Comportamiento del torque.

- Selección de la curva más representativa.
- Corrección de datos según estándares SAE.

**Figura 21**

*Pruebas de desempeño*

**Figura 22**

*Reprogramación del sistema EFI*



#### **3.4.6 Fase 6: Análisis comparativo de resultados**

- Comparación de curvas de potencia antes y después de la conversión.
- Análisis de mejoras o variaciones en:

Entrega de potencia

Respuesta del acelerador

Estabilidad del motor

- Interpretación técnica de los resultados considerando:

Precisión de dosificación

Control electrónico

Eficiencia de combustión

- Identificación de ventajas y limitaciones del sistema EFI.

### **3.5 Variables de estudio**

- Variable independiente:

Tipo de sistema de alimentación (carburado / inyección electrónica).

- Variable dependiente:

Potencia del motor medida en dinamómetro.

### **3.6 Validación del estudio**

La confiabilidad del estudio se asegura mediante:

- Repetición de pruebas.
- Uso de condiciones controladas.
- Equipos calibrados.
- Comparación directa bajo el mismo vehículo y motor.

### **3.7 Consideraciones de seguridad**

- Uso de equipo de protección personal.
- Manejo adecuado de combustible a alta presión.
- Ventilación adecuada durante pruebas.
- Supervisión técnica durante pruebas en dinamómetro.

## Capítulo IV

### Análisis y discusión de resultados

#### 4.1 Resultados obtenidos con el sistema a carburador

Previo a la conversión del sistema de alimentación, el Chevrolet Trooper 1993 fue sometido a pruebas en dinamómetro de chasis con el sistema carburado original en condiciones operativas normales. El motor fue llevado a temperatura de funcionamiento y se realizaron tres corridas consecutivas, seleccionándose la más representativa para el análisis.

**Figura 23**

*Pruebas de desempeño en dinamómetro*



Los resultados evidenciaron una entrega de potencia irregular, con oscilaciones notorias en el rango medio de revoluciones, atribuibles a una dosificación imprecisa de la mezcla aire–combustible.

La potencia máxima registrada se alcanzó a un régimen elevado, mostrando una caída prematura en la curva posterior al punto máximo, lo cual refleja una combustión poco eficiente y una pérdida progresiva de rendimiento a altas revoluciones.

Asimismo, se observó una respuesta lenta al acelerador, especialmente en transiciones bruscas de carga, así como inestabilidad en ralentí. Estas características son propias de los sistemas carburados, cuya regulación depende de ajustes mecánicos

sensibles a variaciones de temperatura, presión atmosférica y desgaste interno del componente.

#### **4.2 Resultados obtenidos con el sistema de inyección electrónica (Holley Sniper EFI 2300)**

Una vez instalada y calibrada la inyección electrónica Holley Sniper EFI 2300, el vehículo fue nuevamente evaluado bajo las mismas condiciones de prueba en dinamómetro.

Se repite el protocolo experimental, garantizando igualdad de variables ambientales y operativas.

**Figura 24**

*Protocolo experimental*



Los resultados mostraron una mejora clara y consistente en la curva de potencia, evidenciando una entrega más progresiva y estable a lo largo de todo el rango de revoluciones. La potencia máxima se alcanzó de forma más eficiente, con una curva más sostenida y sin caídas abruptas, lo que indica una combustión más uniforme.

Adicionalmente, el motor presenta una respuesta inmediata al acelerador, mejor estabilidad en ralentí y una operación más suave en regímenes bajos y medios. El sistema de autoaprendizaje de la ECU permite ajustar la mezcla aire–combustible en tiempo real,

compensando variaciones térmicas y de carga, lo que se reflejó directamente en el desempeño medido.

#### **4.3 Análisis comparativo de curvas de potencia**

La comparación directa entre las curvas obtenidas antes y después de la conversión permitió identificar diferencias significativas en el comportamiento del motor. Con el sistema EFI, la curva de potencia muestra una pendiente más uniforme, evidenciando un mejor aprovechamiento de la energía generada durante la combustión.

En el sistema a carburador, la potencia dependía en gran medida de ajustes mecánicos fijos, lo que provocaba zonas de mezcla rica o pobre. En contraste, la inyección electrónica mantuvo una relación aire–combustible cercana al valor estequiométrico ideal, optimizando la combustión y reduciendo pérdidas energéticas.

El análisis también evidenció que la inyección electrónica mejora no solo la potencia máxima, sino principalmente la calidad de entrega de potencia, lo cual resulta fundamental para aplicaciones reales de conducción, donde la respuesta del motor es tan importante como el valor máximo obtenido.

#### **4.4 Descripción del análisis de rendimiento basado en curvas de potencia y torque**

El análisis de rendimiento del motor se realiza a partir de las curvas de potencia y torque obtenidas en el dinamómetro Mustang MD-500, considerando dos escenarios: funcionamiento con el sistema carburado original y funcionamiento posterior a la conversión a inyección electrónica.

En ambos casos, las pruebas se efectuaron bajo condiciones controladas, manteniendo constantes variables como temperatura de operación del motor, tipo de combustible y parámetros ambientales, con el fin de asegurar la comparabilidad de los resultados.

Las curvas de torque permitieron analizar la capacidad del motor para generar fuerza en función de las revoluciones, identificando el régimen de torque máximo y la estabilidad de su entrega a lo largo del rango operativo.

Por su parte, las curvas de potencia reflejaron el aprovechamiento energético del motor y su comportamiento a regímenes medios y altos. La comparación entre las curvas antes y después de la conversión permitió evaluar cambios en la forma de las gráficas, la suavidad de la entrega, la presencia de caídas abruptas y el desplazamiento de los valores máximos.

Este análisis se centra no solo en los valores máximos de potencia y torque, sino también en la calidad de la curva, considerando aspectos como progresividad, estabilidad y eficiencia de combustión. De esta manera, el estudio proporciona una evaluación integral del rendimiento del motor, evidenciando el impacto técnico del sistema de inyección electrónica frente al sistema carburado original.

El vehículo fue fijado al dinamómetro mediante anclajes de seguridad y rodillos calibrados. Se configura el sistema de adquisición de datos del MD-500 con el factor de corrección SAE J1349, permitiendo comparar resultados bajo condiciones normalizadas. Para cada configuración (sistema carburado e inyección electrónica), se realizaron aceleraciones progresivas desde bajas revoluciones hasta el régimen máximo del motor, manteniendo una apertura total del acelerador.

Cada prueba consistió en múltiples corridas consecutivas, seleccionándose la más estable y representativa para el análisis. El dinamómetro registra en tiempo real las variables de potencia, torque y relación aire–combustible (AFR) en función del régimen de revoluciones del motor, generando las curvas características para cada configuración evaluada.

## **4.5 Interpretación técnica de las curvas de potencia y torque**

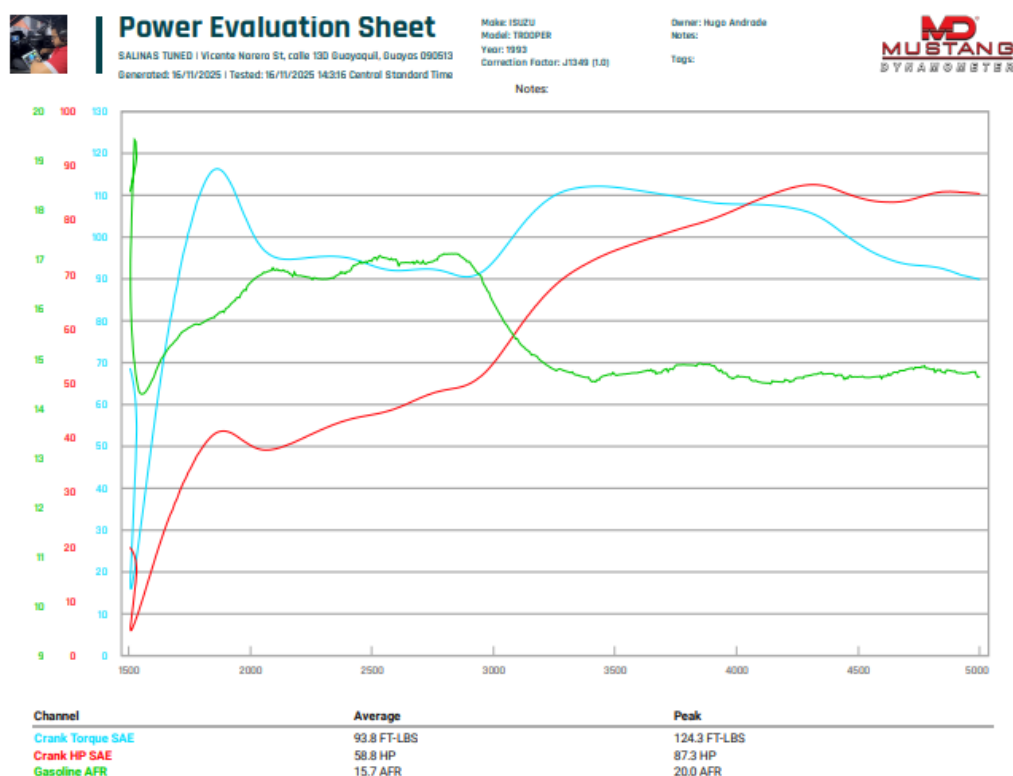
### **4.5.1 Sistema a carburador (condición inicial)**

Las curvas obtenidas con el sistema a carburador muestran una entrega de torque irregular, con un valor máximo de 124.3 ft-lb, pero con una caída progresiva a medida que aumenta el régimen del motor. La potencia máxima registrada fue de 87.3 HP, alcanzada a altas revoluciones, lo que evidencia una combustión poco eficiente en rangos bajos y medios.

La curva de AFR presentó valores elevados, alcanzando hasta 20.0, lo que indica una mezcla excesivamente pobre en ciertos tramos del funcionamiento del motor. Esta condición explica la pérdida de estabilidad, la respuesta limitada del acelerador y la reducción de eficiencia volumétrica observada durante la prueba.

**Figura 25**

*Curvas obtenidas con el sistema a carburador*



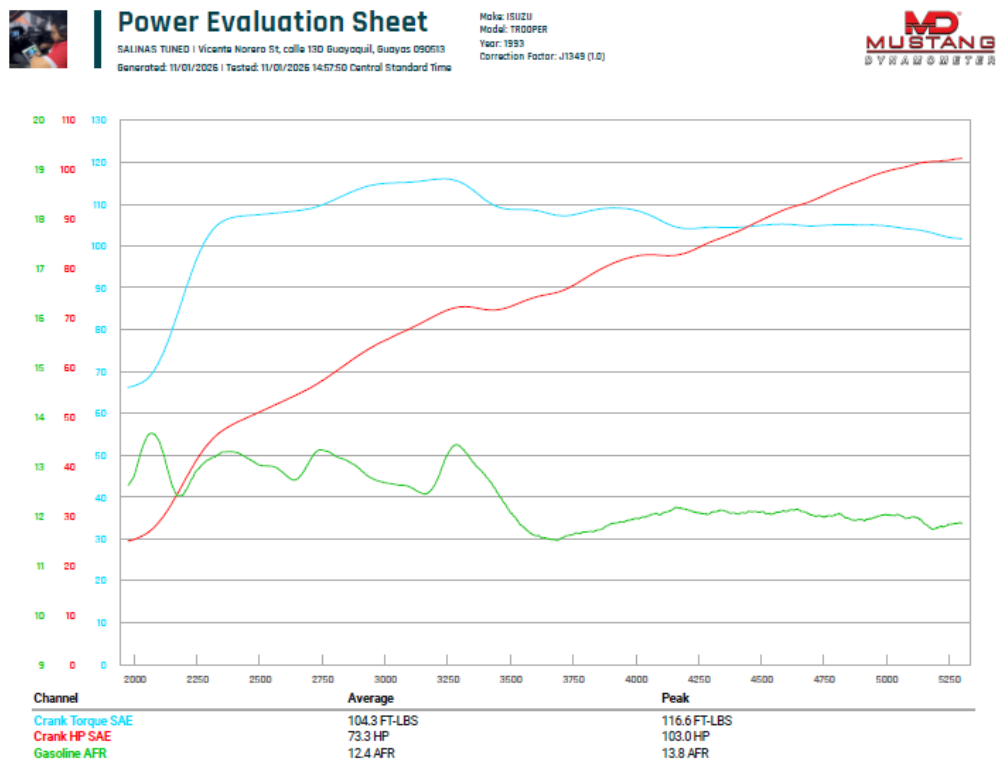
#### 4.5.2 Sistema de inyección electrónica

Tras la instalación del sistema Holley Sniper EFI 2300, las curvas de torque y potencia mostraron una mejora significativa en su forma y estabilidad. El torque promedio aumentó a 104.3 ft-lb, con una entrega más uniforme en todo el rango de revoluciones, mientras que la potencia máxima se incrementó hasta 103.0 HP, reflejando un mejor aprovechamiento energético del motor.

La relación aire–combustible se mantuvo dentro de un rango óptimo, entre 12.4 y 13.8 AFR, lo que indica una combustión más eficiente y controlada. Este comportamiento se tradujo en una respuesta más inmediata del motor, mayor estabilidad en ralentí y una curva de potencia sostenida sin caídas abruptas.

Figura 26

Curvas obtenidas con el sistema de inyección electrónica



#### 4.6 Tablas comparativas de resultados

En la tabla 1 se muestra un análisis sistemático de la información obtenida, ya que permiten organizar, contrastar y sintetizar de manera clara y objetiva los datos derivados del estudio.

Tabla 1

Comparación de resultados en dinamómetro

| Parámetro               | Sistema Carburado | Sistema EFI |
|-------------------------|-------------------|-------------|
| Potencia máxima (HP)    | 87.3              | 103.0       |
| Torque máximo (ft-lb)   | 124.3             | 116.6       |
| Potencia promedio (HP)  | 58.8              | 73.3        |
| Torque promedio (ft-lb) | 93.8              | 104.3       |
| AFR máximo              | 20.0              | 13.8        |
| AFR promedio            | 15.7              | 12.4        |

Las gráficas de potencia y torque obtenidas evidencian diferencias claras entre ambos sistemas. En el sistema carburado, las curvas presentan oscilaciones pronunciadas, reflejando inestabilidad en la mezcla y pérdidas de eficiencia.

En contraste, las gráficas correspondientes al sistema de inyección electrónica muestran curvas más suaves y continuas, con una mejor distribución del torque y un incremento sostenido de la potencia a lo largo del régimen de revoluciones.

La comparación visual de las curvas confirma que la mejora no se limita únicamente a los valores máximos, sino a la calidad de la entrega de potencia, aspecto fundamental para el desempeño real del vehículo.

Los resultados obtenidos en el dinamómetro Mustang MD-500 permiten concluir que la conversión del sistema carburado a inyección electrónica en el Chevrolet Trooper 1993 produjo una mejora significativa en el rendimiento del motor. La inyección electrónica optimiza la dosificación de combustible, estabilizando la relación aire–combustible y mejorando la combustión en todo el rango de operación.

Si bien el torque máximo del sistema carburado presentó un valor puntual mayor, el sistema EFI demuestra una entrega de torque más constante y utilizable, acompañada de un incremento notable en la potencia máxima y promedio. Esto confirma que el beneficio principal de la conversión radica en la eficiencia, estabilidad y control del motor, más que en incrementos aislados de torque pico.

#### **4.7 Discusión de resultados**

Los resultados obtenidos confirman que la conversión de un sistema carburado a inyección electrónica tiene un impacto positivo directo en el rendimiento del motor, validando el objetivo general del proyecto.

La mejora observada se fundamenta en el principio de control electrónico de la mezcla, el cual permite una dosificación precisa y adaptativa del combustible.

Desde un punto de vista técnico, la implementación del sistema Holley Sniper EFI 2300 demuestra ser adecuada para motores originalmente carburados, ya que integra sensores modernos sin requerir modificaciones estructurales complejas. La ECU permite

compensar variables que el carburador no puede gestionar, como variaciones instantáneas de carga y temperatura.

Finalmente, los resultados obtenidos son consistentes con estudios previos reportados en la literatura técnica, donde se evidencia que los sistemas EFI superan a los carburadores en términos de control, eficiencia y adaptabilidad, especialmente en vehículos antiguos que buscan extender su vida útil mediante modernización tecnológica.

El análisis experimental valida técnicamente la implementación del sistema Holley Sniper EFI 2300 como una solución efectiva para modernizar motores carburados, mejorando su desempeño, confiabilidad y comportamiento dinámico bajo condiciones reales de operación.

## Conclusiones

La conversión del sistema carburado a inyección electrónica mediante el kit Holley Sniper EFI 2300 demuestra un impacto positivo en el rendimiento del Chevrolet Trooper 1993, evidenciado por un incremento significativo de la potencia máxima y promedio obtenida en el dinamómetro Mustang MD-500. La mejora en la calidad de las curvas de potencia y torque confirma una combustión más eficiente y controlada, cumpliendo con el objetivo general del proyecto.

El análisis del sistema de carburación original permite identificar limitaciones inherentes a la dosificación mecánica del combustible, tales como inestabilidad en la mezcla aire–combustible y respuesta irregular del motor. La instalación del sistema de inyección electrónica, integrando sensores, actuadores y una unidad de control programable, resolvió dichas limitaciones, proporcionando una gestión precisa del combustible bajo distintas condiciones de operación.

La comparación del desempeño del motor antes y después de la conversión, realizada bajo condiciones controladas en dinamómetro, evidenció que, aunque el sistema carburado puede presentar picos aislados de torque, el sistema EFI ofrece una entrega más constante, estable y utilizable. La conversión del sistema carburado a inyección electrónica en el Chevrolet Trooper 1993 genera una mejora cuantificable en el rendimiento del motor, cumpliendo el objetivo general del proyecto. La potencia máxima aumentó de 87.3 HP a 103.0 HP, lo que representa un incremento del 18.0 %, mientras que la potencia promedio se incrementa de 58.8 HP a 73.3 HP, equivalente a una mejora del 24.7 %. Estos resultados evidencian un aprovechamiento más eficiente de la energía producida por el motor gracias a la gestión electrónica del combustible.

### **Recomendaciones**

Se recomienda realizar ajustes finos adicionales en los mapas de inyección y encendido del sistema Holley Sniper EFI 2300, con el fin de optimizar aún más la entrega de torque y potencia en rangos específicos de operación, especialmente considerando condiciones reales de conducción y carga.

Para futuras investigaciones, se sugiere complementar el análisis de rendimiento con estudios de consumo de combustible y emisiones contaminantes, lo que permitiría evaluar de manera integral los beneficios económicos y ambientales de la conversión de carburación a inyección electrónica.

Se recomienda que la conversión a inyección electrónica en vehículos carburados similares se realice siguiendo procedimientos técnicos estandarizados y con pruebas en dinamómetro, garantizando así una instalación segura, resultados confiables y un correcto aprovechamiento del sistema electrónico implementado.

## Referencias

- Agarwal, A. K. (2018). *Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal*.
- Bosch. (2018). *Manual de inyección electrónica de gasolina*. Editorial Bosch.  
<https://tecnomaxequip.com.ar/wp-content/uploads/2020/11/SISTEMAS-DE-INYECCION-ELECTRONICA.pdf>
- Buendía, R. (2018, 18 de agosto). *Carburadores: ¿Cómo funcionan y por qué están en extinción?* MotorpasiónMéxico.<https://www.motorpasion.com.mx/tecnologia/carburadores-como-funcionan-que-estan-extincion>
- Dierickx, J., Verbiest, J., Peeters, J., & Verhelst, S. (2021). *Retrofitting high-speed engines with methanol injection: Effects on brake thermal efficiency and emissions*. *Fuel Communications*. Elsevier.
- European Commission. (2016). *Vehicle emissions and environmental impact studies*.  
[https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles_en)
- Environmental Protection Agency (EPA). (2019). *Fuel economy and emissions standards for light-duty vehicles*. U.S. Environmental Protection Agency.
- Estrella-Guayasamín, M., Vivar Quiroz, V., Delgado Quinto, A., & Gómez Berrezueta, F. (2024). *Effect of oxyhydrogen gas (HHO) addition on fuel consumption of M2 category vehicle by road tests*. En *International Conference on Science, Technology and Innovation for Society* (pp. 227–237). Springer Nature Switzerland.
- Ferguson, C., & Kirkpatrick, A. (2015). *Internal combustion engines: Applied thermosciences* (4.ªed.). Wiley.<https://www.wiley.com/en-us/Internal%2BCombustion%2BEngines%3A%2BApplied%2BThermosciences%2C%2B4th%2BEdition-p-9781119454502>
- Galarza Neira, J. L. (2022). *Adaptación de un sistema de inyección electrónica programable en un Suzuki Forsa I para aumentar su rendimiento en torque y potencia* [Tesis doctoral, Universidad Internacional del Ecuador].
- Ganesan, V. (2017). *Internal combustion engines*. McGraw-Hill Education.  
<https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/ADVANCED%20ENGINE%20>

TECHNOLOGY%20AND%20PERFORMANCE/INTERNAL%20COMBUSTION%20ENGINES  
%20by%20Ganesan%20%28z-lib.org%29.pdf

Hollembeak, B. (2011). *Automotive fuel and emissions control systems*. Pearson.

Millington, B., & Taylor, J. (2011). *Engine testing: The design, building, modification and use of powertrain test facilities*. Elsevier.

Muslim, M. T., Selamat, H., Alimin, A. J., Rohi, N. M., & Hushim, M. F. (2014). A review on retrofit fuel injection technology for small, carburetted motorcycle engines towards lower fuel consumption and cleaner exhaust emission. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 279–284. Elsevier.

Pulkrabek, W. (2013). *Engineering fundamentals of the internal combustion engine*. Pearson.

Pundir, B. P. (2017). *Engine emissions: Pollutant formation and advances in control*.  
[https://books.google.com/books/about/Engine\\_Emissions.html?id=dmxEswEACAAJ](https://books.google.com/books/about/Engine_Emissions.html?id=dmxEswEACAAJ)

Purwanto, W., Liu, T. K., Maksum, H., Saputra, H. D., Arif, A., Setiawan, M. Y., & Nasir, M. (2024). *The fuel system modification to strengthen achievement and the prospect of utilizing gasoline-ethanol blended with water injection*. *Journal of Applied Engineering and Technological Science*, 5(2), 802–812. <https://doi.org/10.37385/jaets.v5i2.3249>

RACE. (2024, 21 de mayo). *Inyección electrónica: ¿En qué consiste?*  
<https://www.race.es/inyeccion-electronica-coche>

Ramasamy, D., et al. (2017). Engine performance, exhaust emission and combustion analysis of a 4-stroke spark ignited engine using dual fuel injection. *Fuel*. Elsevier.

SAE International. (2015). *Advances in fuel injection systems*. SAE Technical Papers.  
<https://www.sae.org/publications/books/content/r-423/>

Turner, J. (2019). *Performance vehicle dynamics and control*. Elsevier.

Wling. (2024, marzo). *¿Qué es la inyección electrónica de combustible (EFI) en los motores de automóviles?* [https://wuling-id.translate.goog/en/blog/autotips/what-is-electronic-fuel-injection-efi-in-car-engines?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=es&\\_x\\_tr\\_hl=es&\\_x\\_tr\\_pto=tc](https://wuling-id.translate.goog/en/blog/autotips/what-is-electronic-fuel-injection-efi-in-car-engines?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc)

World Health Organization. (2018). *Air Pollution and Public Health*.  
<https://www.who.int/airpollution>.