FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

CONVERSIÓN DE UN VEHÍCULO DE RALLY FORZA 1 CON CARBURADOR A INYECCIÓN PARA INCREMENTAR SU POTENCIA.

Realizado por:

Ricardo Patricio Ruales Villamarin

Director del proyecto:

Ing. MSC Eli Benjamín Falcón Cárdenas

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

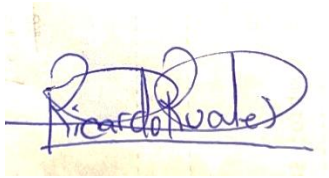
QUITO, 20 de febrero 2025

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Ricardo Patricio Ruales Villamarin ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N° 1725929135, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.



Ricardo Patricio Ruales Villamarin

C.I.: 1725929135

Declaración del director de Tesis

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

Ing. MSC Eli Benjamín Falcón Cárdenas

Los Profesores Informantes:

Ing. MSC Jaime Vinicio Molina Osejos

Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño, PhD

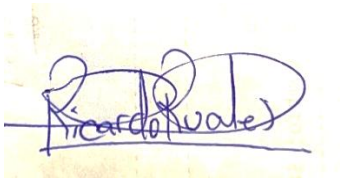
Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.

_____	_____
Ing. MSC Jaime Vinicio Molina Osejos	Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño, PhD

Quito, 20 de noviembre de 2024

Declaración de Autoría del Estudiante

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



Ricardo Patricio Ruales Villamarin

C.I.: 1725929135

Dedicatoria

Gracias a Dios por todas sus bendiciones y recursos dados aun sin merecerlos, y gracias a mis padres que han hecho un sacrificio inmenso aun cuando yo ya no quería continuar ellos me apoyaron y me llenaron de esperanza.

Y gracias a mi futura esposa Mickeyla ella es un gran apoyo y una razón para seguir con mis metas y sueños.

Gracias a mi tutor de tesis por su paciencia y guía.

Ricardo Ruales

Agradecimiento

Gracias a Dios por todas sus bendiciones y recursos dados aun sin merecerlos, gracias a mis padres por su apoyo incondicional y han hecho un sacrificio inmenso aun cuando yo ya no quería continuar ellos me apoyaron y me llenaron de esperanza.

Gracias a mi esposa Mickeyla ella siempre ha creído en mí y es una razón para seguir cumpliendo mis metas y sueños.

Gracias a mi tutor de tesis por su paciencia y guía.

Ricardo Ruales

Resumen

El sistema de carburador en vehículos de rally, como el Forza 1, presenta varias limitaciones que afectan negativamente su rendimiento. Entre los problemas más destacados se encuentran el consumo excesivo de combustible, la entrega irregular de potencia y un aumento en las emisiones contaminantes debido a una combustión menos eficiente. Estos inconvenientes reducen la competitividad del vehículo, ya que afecta la fiabilidad del motor en condiciones extremas de carrera. Para evaluar el impacto de estas limitaciones, se realizaron pruebas con un dinamómetro para comparar el rendimiento del Forza 1 con carburador y con un sistema de inyección electrónica. Los resultados muestran que, con el carburador, el Forza 1 alcanzó una potencia máxima de 34.6 caballos de fuerza y un torque de 48.4 libras-pie a 3000 y 4000 revoluciones por minuto, respectivamente. Sin embargo, al convertir el sistema a inyección electrónica, la potencia aumentó significativamente a 89.08 HP y el torque a 78.89 lb-ft en un rango de 5800 a 6150 rpm. Esta mejora en el rendimiento es crucial para vehículos de rally, donde la potencia, la respuesta del motor y la eficiencia del combustible son esenciales. La conversión a inyección electrónica proporciona una aceleración más rápida, mayor capacidad de respuesta y una mejor gestión del combustible, lo que optimiza el rendimiento del Forza 1 en condiciones de competencia.

Palabras clave: Rendimiento, carburador, inyección, potencia, torque

Abstract

The carburetor system in rally vehicles, such as the Forza 1, has several limitations that negatively affect its performance. Among the most notable issues are excessive fuel consumption, irregular power delivery, and an increase in pollutant emissions due to less efficient combustion. These problems reduce the vehicle's competitiveness, as they affect the reliability of the engine under extreme race conditions. To evaluate the impact of these limitations, dynamometer tests were conducted to compare the performance of the Forza 1 with a carburetor and with an electronic injection system. The results show that with the carburetor, the Forza 1 reached a maximum power of 34.6 horsepower and a torque of 48.4 lb-ft at 3000 and 4000 revolutions per minute, respectively. However, after converting the system to electronic injection, the power increased significantly to 89.08 HP, and torque rose to 78.89 lb-ft in a range of 5800 to 6150 rpm. This improvement in performance is crucial for rally vehicles, where power, engine response, and fuel efficiency are essential. The conversion to electronic injection provides faster acceleration, greater responsiveness, and better fuel management, optimizing the performance of the Forza 1 under competitive conditions.

Keywords: Performance, carburetor, injection, power, torque

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

ANTECEDENTES 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2

JUSTIFICACIÓN 2

OBJETIVOS 3

Objetivo General 3

Objetivos Específicos 3

HIPÓTESIS 4

ESTADO DEL ARTE 5

MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA 5

EL CARBURADOR 5

Principios de Funcionamiento 7

Componentes de Carburador 8

Limitaciones del Carburador 9

INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE 10

Funcionamiento de la inyección electrónica de combustible 11

Definición y Funcionamiento 11

Suministro de Combustible 12

Retroalimentación y ajustes continuos 13

TIPOS DE SISTEMAS DE INYECCIÓN 13

Inyección Mono punto 13

Características principales de la Inyección Mono punto 14

Inadecuado para motores de alto rendimiento: *15*

Dificultades en condiciones extremas: *15*

INYECCIÓN MULTIPUNTO 15

Funcionamiento de la Inyección Multipunto (MPFI) *16*

Tipos de sistemas de Inyección Multipunto (MPFI) *16*

Inyección multipunto secuencial (SFI): *16*

INYECCIÓN DIRECTA 16

Funcionamiento de la Inyección Directa (DI) *17*

Componentes Principales *17*

VENTAJAS DE LA INYECCIÓN ELECTRÓNICA SOBRE EL CARBURADOR 19

Precisión Superior en la Mezcla de Aire y Combustible *19*

Mejor Uso del Combustible *19*

Menor Emisión de Contaminantes *20*

Arranque Ágil y Sencillo *20*

Menos Necesidad de Mantenimiento *20*

Mayor Fiabilidad y Durabilidad *21*

Mejor Respuesta del Motor y Rendimiento *21*

OPTIMIZACIÓN DE LA POTENCIA DEL MOTOR 21

Control Electrónico de Otros Factores *21*

PROCESO DE CONVERSIÓN DE CARBURADOR A INYECCIÓN ELECTRÓNICA 22

Requisitos para la Conversión *22*

Modificaciones Mecánicas *23*

Adaptación del Sistema Eléctrico y Sensores *24*

Impacto de la Conversión en el Motor 24
Disminución del uso de combustible *24*
Más potencia y reacción rápida *25*
Control más efectivo de la proporción aire-combustible *25*
Mantenimiento reducido *25*
Prevención de la detonación *25*
Mapas de combustible y encendido ajustables *26*
Monitoreo en tiempo real *26*
Menos interferencias mecánicas *26*
Gasto de transformación *26*
Mejora en la Potencia y Torque 26
Optimización de la Combustión y Minimización de la Detonación 28
Optimización del Consumo de Combustible *28*
Mejora en la Respuesta del Motor *29*
Rendimiento de los Motores con Inyección Electrónica 29
Eficiencia Energética y Reducción de Emisiones *30*
Mejora en la Eficiencia de Combustión *30*
Respuesta y Adaptabilidad en Rally 31
Versatilidad ante Condiciones Cambiantes del Rally *31*
Mejoras en la Gestión del Combustible durante el Desempeño en Competencia *31*
Casos de Éxito y Aplicaciones en el Automovilismo 32
La Relevancia de la ECU y la Mejora del Desempeño *32*
Comparaciones con Otros Sistemas de Alimentación 33

Inyección Electrónica en Contraste con Carburador *33*

Inyección Electrónica y Sistemas de Alta Eficiencia *33*

CASOS NOTABLES EN EL AUTOMOVILISMO 34

METODOLOGÍA 35

SELECCIÓN DEL VEHÍCULO Y CARACTERIZACIÓN INICIAL 35

Pruebas de torque y potencia con el sistema a carburador en el dinamómetro *35*

IMPLEMENTACIÓN DE LA CONVERSIÓN A INYECCIÓN ELECTRÓNICA 38

Desmontaje de partes del sistema de alimentación a carburador *38*

Sistema eléctrico *40*

COMPONENTES MECÁNICOS ADAPTABLES 40

Múltiple de admisión *40*

Implementación de Individual Throtte Body (ITB) *41*

Inyector de gasolina *42*

Rueda fónica *42*

ADAPTACIÓN PARTES ELECTRÓNICAS 43

ECU Mega squirt II *43*

ADAPTACIÓN BOMBAS Y BOBINAS 44

Bomba de combustible *44*

Regulador de presión de combustible *45*

Bombas independientes *46*

Bobinas *46*

ADAPTACIÓN DE SENSORES 47

Sensor ECT *47*

Sensor CKP *48*

Sensor TPS *49*

Sensor MAP *50*

PRUEBAS Y CALIBRACIONES 50

Software Tuner Studio MS *50*

Ajuste de Rueda fónica y encendido *51*

Control sobe la inyección *51*

Calibración TPS *52*

Calibración arranque en frio *52*

Calibración ajuste de encendido *53*

Enriquecimiento por eficiencia volumétrica *54*

RESULTADOS DE LA PRUEBA DEL DINAMÓMETRO 54

DISCUSIÓN DE RESULTADOS 56

EFICIENCIA DEL DINAMÓMETRO CON CARBURADOR 56

EFICIENCIA DEL DINAMÓMETRO CON INYECCIÓN 57

ANÁLISIS COMPARATIVO 58

CONCLUSIONES 60

RECOMENDACIONES 61

LISTADO DE REFERENCIA 63

Índice de Figuras

Figura 1 *Tiempos de admisión* 5
Figura 2 *El carburador* 6
Figura 3 *Funcionamiento del carburador* 7
Figura 4 *Partes del carburador* 8
Figura 5 *Combustión interna* 10
Figura 6 *Inyección mono punto* 13
Figura 7 *Inyección Multi punto* 15
Figura 8 *Inyección directa* 16
Figura 9 *Inyección directa componentes* 17
Figura 10 *Mejora potencia y torque* 27
Figura 11 *Forza 1 elementos del sistema mecánico* 35
Figura 12 *Vehículo Forza 1 a intervenir* 36
Figura 13 *Revisión del automóvil* 36
Figura 14 *Software especializado* 37
Figura 15 *Características iniciales de torque y potencia* 38
Figura 16 *Desinstalación múltiple y depurador* 39
Figura 17 *Desmontaje sistema de admisión* 39
Figura 18 *Desinstalación múltiple de admisión* 41
Figura 19 *Individual Throtte Body* 41
Figura 20 *Inyector de gasolina* 42
Figura 21 *Rueda fónica desmontaje* 43
Figura 22 *Ecu mega squirt II* 44
Figura 23 *Bomba de combustible* 45
Figura 24 *Regulador de presión del combustible* 45
Figura 25 *Instalación bobinas* 47
Figura 26 *Sensor ECT* 48
Figura 27 *Ubicación sensor TPS* 49
Figura 28 *Softwarw Tuner Studio Ms* 50
Figura 29 *Calibración rueda fónica* 51
Figura 30 *Control de inyección* 51

Figura 31 *Calibración del TPS* 52
Figura 32 *Calibración arranque en frio* 52
Figura 33 *Calibración ajuste encendido* 53
Figura 34 *Eficiencia volumétrica* 54
Figura 35 *Eficiencia volumétrica* 55
Figura 36 *Potencia y Torque a carburador* 56
Figura 37 *Potencia y Torque en la inyección* 57
Figura 38 *Comparación de potencia y torque carburador e inyección* 58
Figura 39 *Resultados finales en el sistema de conversión* 59

Índice de tablas

Tabla 1 *Valores actuador de bobinas* 46
Tabla 2 *Valores sensor ECT* 47
Tabla 3 *Valores sensor CKP* 48
Tabla 1 *Valores sensor TPS* 49
Tabla 5 *Eficiencia del dinamómetro a carburador* 56
Tabla 6 *Eficiencia del dinamómetro a inyección* 57
Tabla 7 *Eficiencia comparativa de torque y potencia* 58

Introducción

Antecedentes

El sistema de inyección de combustible presenta importantes beneficios en comparación con los sistemas de carburador, entre los que destacan una mayor eficiencia en el consumo de combustible y la reducción de emisiones contaminantes. Buendia (2018) señala que la inyección de combustible mejora el rendimiento del motor en términos de potencia y confiabilidad, al garantizar una mezcla óptima de aire y combustible durante la conducción.

Asimismo, García (2017) indica que los sistemas de inyección modernos funcionan a través de unidades de control electrónicas (ECU, por sus siglas en inglés), lo que permite una gestión más eficiente del combustible. Además, estos sistemas pueden ser diagnosticados mediante un escáner computarizado, lo que facilita la identificación y corrección de fallos. Debido a estas ventajas, se ha determinado que la conversión de un sistema de carburador a inyección electrónica es una alternativa viable para mejorar el desempeño del motor.

En las últimas dos décadas, la industria automotriz ha experimentado avances tecnológicos significativos. Tecnologías que en su momento fueron innovadoras han quedado obsoletas y han sido reemplazadas por sistemas más eficientes y sofisticados.

Investigaciones realizadas por ingenieros automotrices y especialistas en la materia han demostrado que el sistema de inyección de combustible es la opción más eficiente para la alimentación del motor. Este sistema no solo optimiza el consumo de combustible y reduce el impacto ambiental, sino que también incrementa la potencia del motor. En el presente estudio, se analizará específicamente el impacto de la conversión a inyección en el rendimiento del motor, con el objetivo de mejorar su potencia y desempeño en condiciones de competencia.

Planteamiento del problema

El sistema de carburador en los vehículos de rally, como el Forza 1, presenta diversas limitaciones que afectan su rendimiento y eficiencia. Una de las principales causas del problema es la inexactitud en la mezcla de aire y combustible, lo que genera un consumo excesivo y una entrega irregular de potencia. Además, los carburadores requieren ajustes constantes, que dificultan su mantenimiento y reduce la confiabilidad del motor en condiciones extremas. Otro factor relevante es el impacto ambiental, ya que los motores con carburador emiten mayores cantidades de gases contaminantes debido a una combustión menos eficiente.

Como consecuencia, los vehículos con carburador presentan una menor competitividad en el automovilismo, ya que no logran el mismo nivel de respuesta y potencia que los sistemas de inyección electrónica. Además, el alto consumo de combustible incrementa los costos operativos, mientras que las fallas mecánicas pueden comprometer el desempeño en competencia.

Ante estas problemáticas, surge la necesidad de analizar cómo la conversión de un sistema de carburador a inyección electrónica influye en la potencia y eficiencia del motor del Forza 1.

Justificación

La conversión de un sistema de carburación a inyección electrónica representa una alternativa eficiente para mejorar el rendimiento de los motores en vehículos de competencia. Este estudio es relevante, ya que permitirá analizar las mejoras en términos de potencia, eficiencia en el consumo de combustible y respuesta del motor, aspectos fundamentales en el automovilismo de alto desempeño. Además, proporcionará información técnica de valor para pilotos, mecánicos y especialistas en la optimización de vehículos de competencia.

El sistema de inyección electrónica se caracteriza por una dosificación precisa del combustible, lo que no solo incrementa la potencia del motor, sino que también reduce el consumo y las emisiones contaminantes. Esto resulta beneficioso tanto a nivel competitivo como ambiental, ya que permite una operación más eficiente y alineada con las regulaciones actuales sobre emisiones vehiculares.

Asimismo, este estudio responde a la necesidad de modernizar tecnologías obsoletas en vehículos de rally, promueve la adopción de sistemas más avanzados y confiables. La implementación de la inyección electrónica mejorará la estabilidad y confiabilidad del motor, además de optimizar los costos de mantenimiento. En conjunto, los resultados de esta investigación contribuirán al desarrollo de estrategias para mejorar el desempeño de los vehículos de competencia mediante el uso de tecnologías innovadoras.

Objetivos

Objetivo General

- Convertir un vehículo de rally Forza 1 equipado con carburador a un sistema de inyección electrónica de combustible, con el propósito de incrementar su potencia y optimizar su desempeño en competencias

Objetivos Específicos

- Comprobar los parámetros de potencia, eficiencia de combustible y respuesta del motor en un Forza 1 con carburador, para establecer una base comparativa.
- Implementar la conversión a inyección electrónica en el Forza 1, para mejorar la potencia y torque

- Evaluar el impacto de la conversión en el rendimiento del Forza 1, para determinar las mejoras en potencia y torque para competiciones rally

Hipótesis

La conversión del sistema de carburador a inyección electrónica en un vehículo Forza 1 incrementará la potencia del motor, mejorará la eficiencia en el consumo de combustible y optimizará la respuesta del motor a las variaciones en las condiciones de conducción, lo que resultará en un mejor rendimiento general del vehículo en competencia.

La hipótesis sugiere que al realizar la conversión de un sistema de carburador a inyección electrónica en un vehículo Forza 1, se logrará una mejora significativa en su rendimiento general. Se espera que este cambio incremente la potencia del motor, ya que la inyección electrónica permite un control más preciso de la mezcla de aire y combustible. Además, se anticipa una optimización en la eficiencia del combustible, lo que reducirá el consumo en condiciones de conducción variables. Finalmente, la conversión mejorará la respuesta del motor, adaptándose más rápidamente a cambios en las condiciones de manejo, especialmente en situaciones de competencia.

Estado del arte

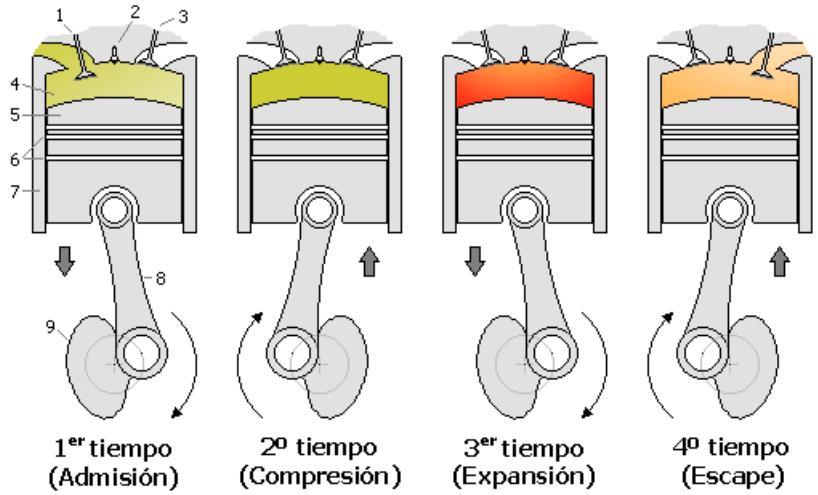
En la presente sección se detalla la teoría que respalda la conversión de carburador a inyección electrónica en vehículos de rally, se destaca los beneficios de la inyección electrónica en comparación con el carburador.

Motores de combustión interna

Según la figura 1 los motores de combustión interna reciben dicho nombre porque la energía mecánica generada a partir de la combustión se produce en el interior de la cámara destinada a tal fin, a diferencia de otros motores como el de vapor.

Figura 1

Tiempos de admisión



Nota: En la imagen se observa los 4 tiempos admisión, comprensión, explosión y escape que ocurren en el motor.

El Carburador

Es una pieza la cual es la encargada de suministrar gasolina o diésel al motor además transporta una proporción adecuada de aire y combustible al motor mientras esté en funcionamiento como se muestra en la figura 2.

Hay que tomar en cuenta que el volumen de mezcla aire combustible ira variando según el tipo de manejo que tenga el conductor. Existen varios tipos de carburadores, pero todos tienen el mismo principio de funcionamiento.(Simbaña Arias et al., 2022)

- Carburador básico consta de:
- Cubeta de nivel constante
- Difusor
- Pulverizador
- Válvula de mariposa

Figura 2

El carburador

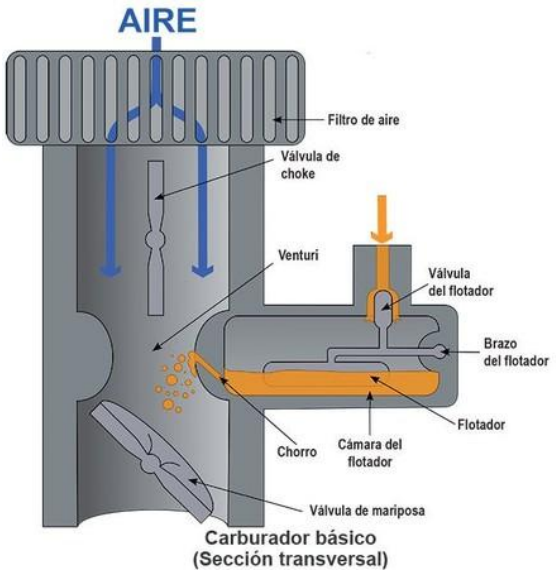
Nota: En la imagen se observa las características físicas del carburador

Principios de Funcionamiento

El carburador desempeña un funcionamiento adecuadamente el aire con el combustible para lograr una combustión eficiente mediante el acceso hacia el motor a través de un conducto de admisión como se indica en la figura 3. La proporción de esta mezcla puede variar, siendo mejor o más suave. (Cuenca Chamba, 2012)

Figura 3

Funcionamiento del carburador



Nota: En la imagen se indica la funcionalidad del carburador

El sistema de atomización del combustible facilita la mezcla con el aire, el carburador atomiza el combustible. Este proceso se logra mediante una serie de chorros o boquillas, a través de los cuales el combustible es pulverizado en pequeñas gotas, lo que mejora así su combustión.

El carburador cuenta con varios circuitos (de baja, media y alta velocidad) que permiten regular la proporción de carburante que se combina con el aire, adaptándose a las distintas condiciones del motor.

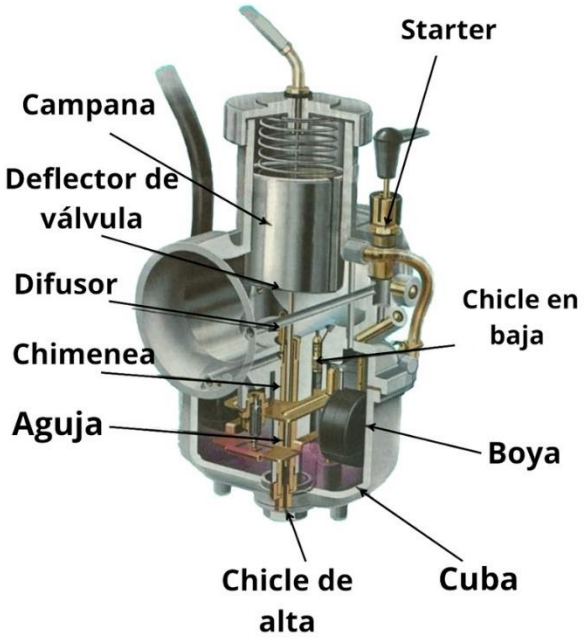
Ciertos carburadores están equipados con dispositivos que ajustan la proporción de combustible según la temperatura del motor.(Pineda Blanco, 2024)

Componentes de Carburador

En la ilustración 4 se indica la válvula de la aceleración y flotador: Además, el carburador dispone de una válvula de aceleración que regula la aumento de combustible directamente proporcionar a la cantidad de aire que se aspira, junto con un sistema de flotador que controla el nivel del combustible, lo que garantiza una entrega constante y eficiente. (Merlo, 2023)

Figura 4

Partes del carburador



Nota: Consta de10 partes del carburador

Cuba es el elemento el cual contiene el nivel del combustible que lleva a la salida del surtidor. Gracias a la bomba de combustible el mismo llega hasta este punto, va a mantenerlo siempre de 1-3mm por debajo del surtidor, ahí tiene una boya o flotador.

Chimeneas son básicamente conductos por los cuales viaja el combustible de la cuba al difusor, es aquí donde se controla el caudal de una manera estática, es decir el caudal se fija y ya no puede varear.

Surtidor este elemento va en conjunto con la cuba, recibe el combustible hasta un determinado nivel, posee la forma de un tubo el cual esta calibrado en la parte interna de la canalización, por ahí pasa el aire al carburador.

Cuerpo del carburador es un elemento de ensamble aquí se unen todos los subcomponentes del ensamblaje, este elemento posee un agujero en especial el cual se conoce como difusor.

Campana esta parte del carburador es la encargada de que se abra el difusor.

Válvula de mariposa: este elemento en particular es encargado de controlar y regular el volumen de aire y combustible, también regula el paso del aire.

Limitaciones del Carburador

A pesar de que los carburadores desempeñaron un objetivo claro en los motores a gasolina interna durante décadas, presentan diversas limitaciones que han propiciado la adopción generalizada de Sistema de Inyección electrónica de gasolina en los vehículos actuales. (Colcha Maldonado & Miranda Reyes, 2011)

Rendimiento y eficiencia. La relación entre combustible y aire puede presentar variaciones a lo largo del rango de revoluciones del motor, lo que impacta de forma negativa a la eficiencia y el consumo de la gasolina.

Contaminación y emisiones. Debido a la falta de precisión en la composición de aire y combustible, los carburadores suelen generar niveles más altos de gases contaminantes. Aunque cuentan con un "choke" para facilitar el arranque en frío, la mezcla no siempre es adecuada, lo que puede complicar el encendido del motor en condiciones de baja temperatura.

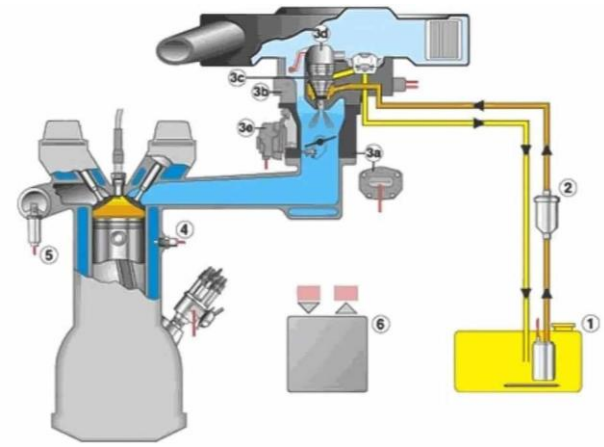
Mantenimiento y ajustes. Los carburadores necesitan ajustes manuales para asegurar una mezcla correcta, especialmente a lo largo del tiempo o debido a factores como la suciedad o desgastes. Estos ajustes pueden resultar imprecisos y complicados para conductores inexpertos. Los carburadores son propensos a obstrucciones o acumulación de residuos en sus componentes, que influye en la circulación de aire y combustible, lo cual reduce la efectividad del motor e incluso provoca problemas al encender o un funcionamiento inestable.

Inyección Electrónica de Combustible

En la figura 5 se observa la tecnología sofisticada empleada en motores de combustión interna para ofrecer una entrega de combustible más efectiva y regulada en comparación con los carburadores. (Parera, 1990)

Figura 5

Combustión interna



Nota: Proceso de combustión interno del carburador

Funcionamiento de la inyección electrónica de combustible

Sensores: Estos instrumentos evalúan diversas variables del motor, como la temperatura del mismo la suma de aire que ingresa la posición del acelerador, la presión del combustible, la temperatura del aire, entre otros. (Aguilar-Jaramillo et al., 2022)

Unidad de Control Electrónico: Ajusta la cantidad que debe ser inyectada cada cilindro conforme a las condiciones del motor en tiempo real.

Inyectores de combustible: Son válvulas que se manejan electrónicamente, las cuales se abren y cierran para permitir el flujo de combustible hacia los cilindros en la cantidad y momento adecuados según las instrucciones de la ECU.

Definición y Funcionamiento

Se fundamenta en el uso de sensores y una Unidad de Control Electrónica (ECU), que trabajan conjuntamente para ajustar la proporción de aire y combustible que ingresa al motor, de forma precisa y regulada.

Se basa en diversos sensores que vigilan las condiciones tanto del motor como del entorno. Entre los sensores más significativos se incluyen:

Sensor (MAF): Este dispositivo evalúa la cantidad de aire que ingresa al motor

Sensor de temperatura del motor: Este sensor mide el calor del motor para modificar la mezcla de combustible según las condiciones

Sensor de posición del acelerador (TPS): Este sensor comunica a la ECU el nivel de aceleración solicitado por el conductor, lo que afecta la inyección de combustible.

Sensor (O2): Se encarga de medir el contenido de oxígeno en los gases de escape

Sensor (MAP): Este sensor mide la presión del aire en el colector de admisión

Procesamiento de información por la ECU

Recibe datos de los sensores en tiempo real y, basado en esta información, calcula la cantidad exacta de combustible para ser inyectada al motor. La ECU dispone de mapas de referencia predefinidos y algoritmos que permiten adaptar la mezcla para distintas condiciones de operación, como baja revoluciones, alta carga o arranque en frío. (*ECU: Sistemas electrónicos de inyección en motores de combustión interna*, s. f.)

Suministro de Combustible

Los inyectores son dispositivos que la ECU controla electrónicamente y que son responsables de entregar el combustible a los cilindros lo que regula el aire-combustible que es un flujo de aire que accede al motor se ajusta mediante el acelerador y la entrada de aire, mientras que la cantidad de combustible es administrada por el sistema de control del motor, el cual se fundamenta en los datos proporcionados por los sensores.

Cuando la mezcla de aire y combustible ingresa a los cilindros, se lleva a cabo un proceso de compresión durante el ciclo del motor. Luego una burbuja de aire genera una chispa que enciende la mezcla aire-combustible. (Quintana Rausell, 2015)

Retroalimentación y ajustes continuos

Una vez que el combustible ha sido combustión, los gases proveniente del escape son analizados por el sensor de oxígeno, que proporciona datos a la unidad de control sobre la efectividad de la combustión.

Tipos de Sistemas de Inyección

Existe varios sistemas, pero los más conocidos son los de Inyección de Combustible Mono punto que se utiliza un inyector que provee combustible a todos los cilindros desde un único punto de inyección en el colector de admisión.

Otro sistema es el sistema de Inyección Multipunto en este tipo de sistema, cada cilindro está equipado con su inyector, lo que posibilita un control individualizado de la cantidad de combustible que recibe cada uno.

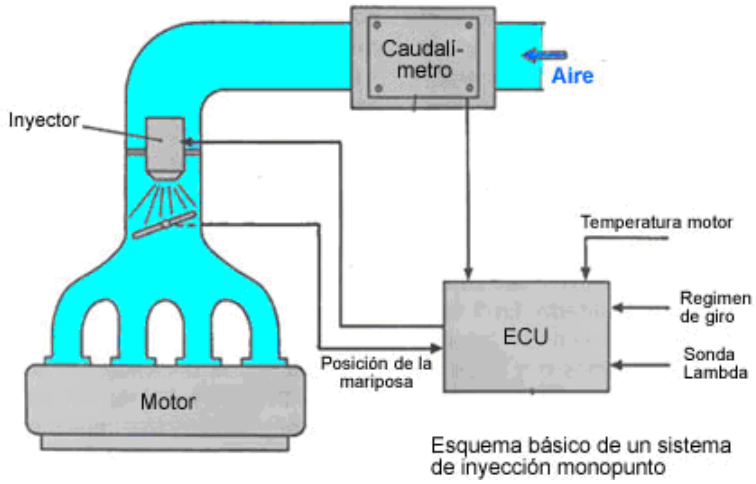
Y por último el sistema de inyección Directa de Combustible donde se enfoca, en lugar de introducir el combustible almacena la admisión, se inyecta de forma directa al cilindro a alta presión. (*SISTEMAS-DE-INYECCION-ELECTRONICA.pdf*, s. f.)

Inyección Mono punto

La inyección mono punto de la figura 6 muestra un sistema de inyección electrónica de combustible que utiliza un único inyector para abastecer todo el motor. (Guanga Pugo et al., 2013)

Figura 6

Inyección mono punto



Nota: Esquema básico de un sistema de inyección mono punto

- El mecanismo de la inyección mono punto funciona de la siguiente manera:
- Sensor de flujo de aire
- Unidad de Control Electrónico
- Inyector de combustible

Características principales de la Inyección Mono punto

Existe únicamente un inyector en el sistema que proporciona combustible para todo el motor. Este inyector está ubicado en el colector de admisión, desde donde el combustible se distribuye a los cilindros.

La inyección mono punto presenta una menor complejidad en comparación con los sistemas múltiples (MPFI), ya que no se necesita un inyector por cada cilindro. Esto la convierte en una alternativa más rentable tanto en fabricación como en mantenimiento.

A pesar de su simplicidad, ayuda con el control requerido de la mezcla de aire y combustible, lo que así la eficiencia del motor y disminuye las emisiones.

El combustible que se inyecta en el almacenamiento de la admisión se reparte entre todos los cilindros.

Inadecuado para motores de alto rendimiento:

La inyección mono punto suele emplearse en vehículos de bajo o medio rendimiento. En motores de alta potencia, resulta más idóneo un sistema multipunto o de inyección directa por la necesidad de una distribución más precisa del combustible.

Dificultades en condiciones extremas:

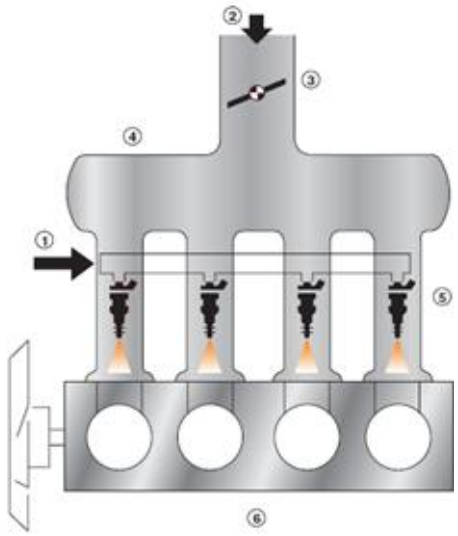
Bajo ciertas circunstancias, como en altitudes elevadas o con cambios rápidos de aceleración, la inyección mono punto puede no reaccionar tan velozmente como los sistemas de inyección más avanzados, lo que podría provocar una respuesta más lenta o una mezcla no óptima.

Inyección Multipunto

La inyección multipunto (MPFI) que se representa en la figura 7 es una evolución significativa en los sistemas de inyección, lo que supera las limitaciones de la inyección mono punto. (Idrovo González et al., 2011)

Figura 7

Inyección Multi punto



Nota: Esquema básico de un sistema de inyección multi punto

Funcionamiento de la Inyección Multipunto (MPFI)

Sensores:

Unidad de Control Electrónico

Inyectores de combustible:

Emplean un solo inyector para todo el motor, el sistema multipunto dispone de un inyector independiente para cada cilindro. Esta disposición permite un control más detallado por parte de la ECU sobre la inyección de combustible, lo que mejora notablemente la eficiencia del motor.

Tipos de sistemas de Inyección Multipunto (MPFI)

Inyección multipunto convencional:

Inyección multipunto secuencial (SFI):

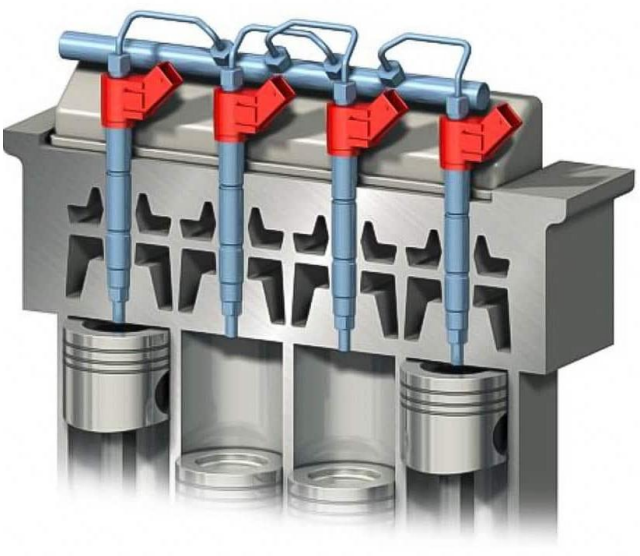
Este es un sistema aún más sofisticado, donde cada inyector se activa de forma secuencial, sincronizándose con la fase de compresión de cada cilindro. (Bustacara Rodríguez, 2018)

Inyección Directa

Conocida como DI por su acrónimo en inglés, representa la figura 8 una tecnología de vanguardia empleada en motores de combustión interna, En este enfoque, el combustible se inserta de manera directa en la cámara de combustión de cada uno de los cilindros, a diferencia de los sistemas tradicionales que lo hacen en el colector de admisión. (Oliver & María, 2015)

Figura 8

Inyección directa



Nota: Esquema básico de la inyección directa

Funcionamiento de la Inyección Directa (DI)

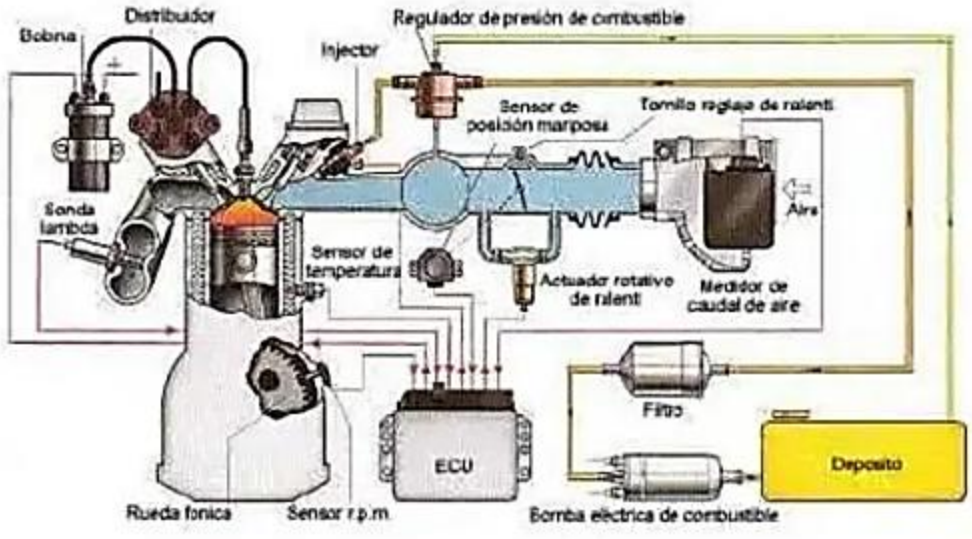
1. Inyección de combustible en la cámara de combustión:
2. Alta presión de inyección:
3. Mezcla aire-combustible más eficiente:
4. Control de la combustión:
5. Modos de inyección:

Componentes Principales

Es preciso incorporar ciertos sensores y actuadores esenciales que lleven a cabo mediciones y envíen datos a la ECU, de manera que esta emita instrucciones a los diferentes actuadores para lograr un rendimiento óptimo y eficaz tal como se indica en la ilustración 9.

Figura 9

Inyección directa componentes



Nota: Esquema de los componentes

Bomba de combustible esta bomba también asegura que haya una presión adecuada y constante en el riel de inyección.

Filtro de combustible este filtro se ocupa de remover impurezas, suciedad y partículas del combustible antes de que llegue al sistema de inyección y al motor. Esto previene que se bloqueen los inyectores y garantiza un flujo de combustible limpio y eficiente.

Riel de inyección el riel de inyección es el canal que distribuye el combustible desde la bomba a los inyectores. Se encarga de que el combustible se proporcione de manera equitativa a cada inyector.

Inyectores de combustible los inyectores son las piezas encargadas de pulverizar el combustible

Los sensores en el sistema de inyección de combustible son fundamentales para que la unidad de control electrónico

La ECU actúa como el centro de mando del sistema recibe información de los sensores y regula la cantidad de combustible que se inyecta, el cronometraje de la inyección y la sincronización de acuerdo a las condiciones del motor.

Este regulador mantiene la presión adecuada dentro del sistema de inyección. Es vital para garantizar que los inyectores reciban una presión constante y uniforme, en ciertos sistemas de inyección, la válvula de retorno se encarga de gestionar el flujo de combustible sobrante, enviándolo nuevamente al depósito y las líneas de combustible son tuberías por las cuales el combustible se traslada desde el depósito hacia el motor y el sistema de inyección. (Chávez & Huallpachoque, 2017)

Ventajas de la Inyección Electrónica sobre el Carburador

La inyección de combustible electrónica presenta múltiples beneficios notables en comparación con el carburador, lo que ha llevado a que este último sea casi totalmente reemplazado en los autos actuales. (Álvarez Álvarez & Álvarez Peralta, 2023)

Precisión Superior en la Mezcla de Aire y Combustible

Controla de manera precisa la cantidad exacta de combustible que se introduce, considerando diversos factores como la temperatura del motor, la presión del aire y la velocidad del motor.

Carburador en contraste, el carburador funciona con una configuración fija, lo que no le permite adaptarse con la misma precisión a las cambiantes condiciones del motor, lo que resulta en una mezcla menos eficiente y complicada de ajustar.

Mejor Uso del Combustible

Su capacidad para modificar mucha cantidad de combustible que se inyectado permite una mejor combustión. Esto lleva a un menor consumo y una mayor eficiencia energética.

Carburador al carecer de un control tan exacto, los carburadores suelen desperdiciar más combustible, lo que se traduce en un consumo superior y menor

Menor Emisión de Contaminantes

Habilidad de regular con precisión la mezcla de combustible garantiza que el motor funcione de forma más limpia, lo que disminuye la producción de gases contaminantes como CO2, NOx y HC. Esto convierte a los vehículos con inyección electrónica en opciones más ecológicas que cumplen con las normativas de emisiones más rigurosas.

Los carburadores no tienen la misma capacidad para controlar las emisiones, lo que resulta en un aumento de la contaminación, ya que la mezcla no ser siempre ideal.

Arranque Ágil y Sencillo

Inyección electrónica estos sistemas están diseñados para optimizar la mezcla de combustible incluso cuando el motor está frío, lo que facilita un arranque más rápido y fácil, especialmente en climas fríos, eliminando la necesidad de un sistema de "choke" manual.

Carburador: Los carburadores requieren ya sea un sistema manual o automático de "choke". Esto puede resultar menos eficiente y, en ocasiones, generar dificultades al intentar encender el motor en condiciones poco favorables.

Menos Necesidad de Mantenimiento

Exigen menos atención de mantenimiento en comparación con los carburadores. No precisan ajustes constantes en la mezcla de combustible ni limpieza regular, y no se ven influenciados por la suciedad o la humedad de la misma forma que los carburadores.

Carburador: Los carburadores necesitan ajustes regulares para asegurar que la mezcla de aire y combustible sea la apropiada. Además, pueden bloquearse o ensuciarse con el tiempo.

Mayor Fiabilidad y Durabilidad

Estos sistemas son más confiables y perdurables, dado que utilizan sensores y proporcionan un control más exacto sobre el motor.

Al ser mecanismos mecánicos, los carburadores son más vulnerables al desgaste, fugas y fallos, lo que puede ocasionar un rendimiento errático y hacer que el motor sufra problemas mecánicos.

Mejor Respuesta del Motor y Rendimiento

Controla con precisión la mezcla de combustible y el tiempo de inyección, la inyección electrónica mejora la reacción del motor,

Carburador: Los carburadores responden de manera más lenta y menos precisa a las variaciones en la demanda de energía, lo que puede resultar en un funcionamiento óptimo.

Optimización de la Potencia del Motor

Desacuerdo a la cantidad de combustible según las condiciones del motor permite a los sistemas de inyección electrónica maximizar la potencia en diversas situaciones operativas (como aceleración, velocidad constante y carga elevada).

Carburador: El carburador carece de la capacidad para hacer ajustes tan finos, lo que puede limitar la habilidad del motor para alcanzar su potencia máxima cuando es más necesario.

Control Electrónico de Otros Factores

Inyección electrónica: Los sistemas electrónicos no solo gestionan la inyección de combustible, sino que también interactúan con otros sistemas del motor, como la ignición, el control de emisiones y el sistema de turbo alimentación

Un carburador es un sistema antiguo que no puede interactuar con otros sistemas de manera coordinada o controlada. (Simbaña Arias et al., 2022)

Proceso de Conversión de Carburador a Inyección Electrónica

La transformación de un carburador a un sistema de inyección electrónica es una tarea complicada que consiste en reemplazar el sistema mecánico del carburador con uno electrónico, lo que favorece la eficacia del motor, mejora el rendimiento, reduce las emisiones y optimiza. (Espada Parguiña, 2023)

- Procedimiento de conversión de carburador a inyección electrónica
- Planeación y Análisis del Sistema de Inyección
- Sustitución del Carburador por el Conjunto de Inyección
- Instalación del Sistema de Suministro de Combustible
- Instalación de la Unidad de Control Electrónico (ECU)
- Alteración o Sustitución del Sistema de Encendido
- Configuración y Ajuste de la ECU
- Verificación de los Componentes del Sistema de Escape
- Pruebas y Ajustes Finales
- Inspección y Conformidad con Normativas

Requisitos para la Conversión

La transformación de un sistema con carburador a uno de inyección electrónica es una tarea técnica que resulta bastante complicada y demanda una planificación minuciosa y el seguimiento de ciertas especificaciones.

La adaptación de estos sistemas conlleva la instalación de dispositivos electrónicos complejos, incluidos sensores, la ECU y sistemas de encendido. (Bosch, 2005)

Herramientas mecánicas básicas: Esto abarca destornilladores, llaves de vaso, alicates, gatos hidráulicos para levantar el vehículo, y otras herramientas mecánicas comunes.

Sistema de inyección electrónica, Sensores, Sistema de encendido electrónico

El colector de admisión necesita ser ajustado o reemplazado para poder instalar los inyectores y otros elementos del sistema de inyección electrónica.

ECU programable: Es crucial que la ECU seleccionada sea programable y adecuada para el motor.

Pruebas iniciales: Una vez que la instalación ha sido finalizada, se deben realizar pruebas de arranque y operación para confirmar que el motor reciba la cantidad adecuada de combustible y aire.

Cumplimiento de las Normas de Emisiones y Seguridad

Evaluación de Costos

Modificaciones Mecánicas

La transformación de un carburador a un sistema de inyección electrónica requiere diversas modificaciones mecánicas cruciales en el automóvil. (Rodríguez Tapia & Plasencia Caiza, 2021)

- Desmontaje del Carburador y Elementos Asociados
- Instalación del Nuevo Sistema de Inyección
- Instalación de la Bomba de Combustible de Alta Presión
- Sistema de Encendido Electrónico
- Instalación de Sensores Adicionales
- Modificaciones en el Sistema de Emisiones
- Conexión de la ECU y Sistema de Cableado
- Ajuste de la Admisión de Aire

Adaptación del Sistema Eléctrico y Sensores

El sistema y los sensores son fundamental en la transformación de un auto con carburador a uno con inyección electrónica, dado que esta tecnología se basa en gran medida en información eléctrica exacta para regular la mezcla de combustible y aire, así como otros aspectos del motor. (Denton, 2020)

- Instalación y Modificación de la ECU
- Conexión de Sensores Esenciales
- Ajuste del Sistema de Suministro Eléctrico
- Instalación de la Bomba de Combustible de Alta Presión
- Ajuste de la Señal de Encendido y Apagado
- Conexión y Ajuste del Sistema de Encendido Electrónico
- Integración Unidad de Control Electrónico

Constituye una de las etapas más esenciales en la transformación de un sistema de carburador a inyección electrónica de combustible. Esta unidad tiene como objetivo claro la gestión de distintos aspectos del funcionamiento del motor, como la mezcla de combustible y aire, la sincronización del encendido y el control de la bomba de combustible, entre otros.

Impacto de la Conversión en el Motor

Disminución del uso de combustible

Gracias al manejo acertado de la mezcla, el motor tiende a necesitar menos combustible comparado con un carburador, dado que el sistema de inyección se adapta mejor a las exigencias de potencia y a las condiciones del motor. (Ureta Campos, 2021)

Más potencia y reacción rápida

La inyección electrónica ofrece un manejo más preciso de la entrega de combustible y el momento de encendido, lo que puede resultar en una respuesta más ágil y una mayor potencia del motor. La unidad de control ajusta continuamente los parámetros de acuerdo a la carga, la temperatura del motor y otros elementos, lo que mejora el rendimiento.

Control más efectivo de la proporción aire-combustible

Gracias al control de la unidad de gestión, la proporción de mezcla puede mantenerse cerca de la estequiometría (la proporción ideal 14. 7:1 en la mayoría de los motores a gasolina), lo que minimiza los residuos y disminuye la contaminación.

Mantenimiento reducido

A diferencia de un carburador, que necesita ajustes frecuentes, limpieza y calibración, la inyección electrónica es más fiable y demanda menos mantenimiento después de su correcta instalación.

Los dispositivos que miden la temperatura del motor y del aire de admisión permiten que la ECU modifique de forma automática la proporción de aire y combustible, mejorando el rendimiento en diferentes situaciones térmicas. Esto da como resultado un motor que inicia con mayor eficiencia en frío y opera de manera más estable cuando se calienta.

Prevención de la detonación

Al gestionar el momento de la chispa, la ECU minimiza el riesgo de detonaciones (encendido prematuro de la mezcla de combustible), protege así al motor y mejora su rendimiento.

Mapas de combustible y encendido ajustables

La ECU se puede reprogramar para optimizar aún más la eficiencia según lo que el conductor necesite, su estilo de conducción o las circunstancias del motor (como en altitudes elevadas o climas fríos).

Monitoreo en tiempo real

La ECU tiene la habilidad de observar parámetros en tiempo real y hacer ajustes inmediatos para prevenir fallos y mejorar el rendimiento. Si algo no funciona como debería, la ECU puede guardar códigos de error y generar alertas para el propietario del vehículo.

Menos interferencias mecánicas

Un sistema de inyección electrónica es menos susceptible a fallas mecánicas, a diferencia de un carburador, que puede experimentar problemas por suciedad, desgaste de componentes o cambios en la presión del combustible.

Gasto de transformación

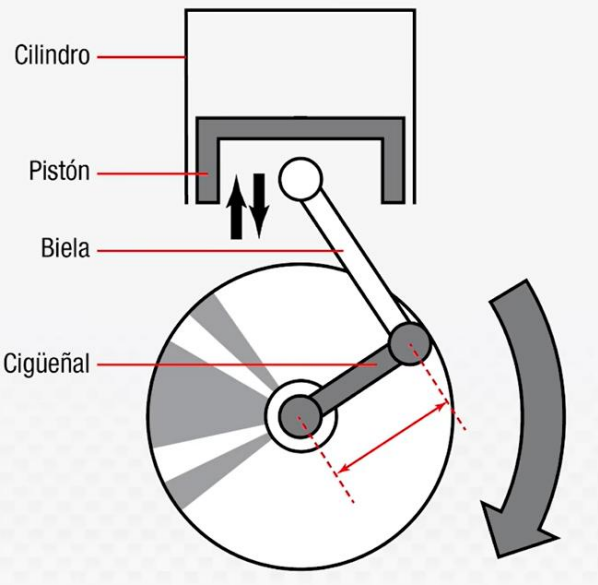
Cambiar un motor de carburador a inyección electrónica puede resultar caro, dado que implica adquirir una ECU, sensores, inyectores, bombas de combustible y diversos elementos electrónicos. Adicionalmente, la instalación y la configuración a menudo demandan tiempo y conocimientos especializados.

Mejora en la Potencia y Torque

La transición de un sistema con lleva una notable mejora en la potencia y el torque, siendo este uno de los beneficios fundamentales. Esta mejora proviene de distintos aspectos relacionados con la exactitud, el control y la eficacia que ofrece la inyección electrónica en comparación a los carburadores. (Castillo et al., 2017)

Figura 10

Mejora potencia y torque



Nota: Componentes de mejora cilindro, pistón, biela y cigüeñal

- Avance en la Exactitud de la Mezcla Aire-Combustible
- Mejora en la Sincronización del Encendido
- Respuesta Rápida del Acelerador
- Mejor Gestión del Flujo de Combustible
- Control de la Inyección Basado en la Carga y Condiciones del Motor
- Aumento del Torque a Bajas Revoluciones

Mejor torque en revoluciones bajas: Gracias a la mayor precisión en la entrega de combustible, los motores con inyección electrónica tienden a ofrecer más torque a bajas revoluciones, lo que mejora la respuesta y suavidad del motor al arrancar o al conducir a baja velocidad.

Optimización de la Combustión y Minimización de la Detonación

Optimización del Consumo de Combustible

La mejora en el uso del combustible es una de las ventajas más significativas de la inyección electrónica de combustible en comparación a los carburadores, esto es consecuencia de la capacidad de la Unidad de Control Electrónico para ajustar de forma continua y precisa la proporción de aire y combustible, así como otros factores que afectan el rendimiento del motor. (Cabrera-Montie et al., 2012)

A diferencia de los carburadores, que utilizan mecanismos mecánicos menos exactos para controlar la mezcla, la inyección electrónica ofrece una relación aire-combustible casi perfecta

La Unidad de Control Electrónico también evalúa la temperatura del aire que entra. En climas fríos, el sistema puede modificar la mezcla para optimizar el rendimiento, mientras que en climas más cálidos, ajusta la mezcla para prevenir un consumo elevado de combustible, el ECU gestiona la sincronización de la chispa para garantizar que se produzca en el momento más efectivo para la combustión.

En situaciones de conducción ligera, como en el tráfico urbano o a baja velocidad, se disminuye el suministro de combustible, mientras que en carreteras rápidas o durante aceleraciones fuertes, se incrementa.

Inyección directa de combustible en los mecanismos de carburador, el combustible tiende a vaporizarse en parte antes de ingresar a los cilindros, lo que puede resultar en una combustión menos eficiente y un mayor uso de combustible.

La inyección electrónica de combustible está diseñada para operar junto con sistemas sofisticados de control de emisiones.

Mejora en la Respuesta del Motor

Una de las características más destacadas de transformar un sistema de carburador en inyección electrónica de combustible (EFI) es la mejora en la respuesta del motor. Esto se debe a varios aspectos relacionados con el control exacto, la eficiente entrega de combustible y la gestión activa de las diferentes condiciones del motor.

Provisión precisa de combustible

Gestión dinámica del encendido

Respuesta instantánea

Adaptación a variaciones.

Combustión constante

Personalización según el estilo de conducción

Rendimiento de los Motores con Inyección Electrónica

El desempeño de los motores que incorporan un sistema de inyección electrónica de combustible es notablemente mejor que el de aquellos que funcionan con carburadores, gracias a la superior exactitud, control y versatilidad que proporciona el sistema electrónico. (Guasumba Maila et al., 2021)

- Aumento de Potencia y Par
- Mejora en la Eficiencia de la Combustión
- Respuesta y Aceleración del Motor Mejoradas
- Control Efectivo del Gasto de Combustible
- Versatilidad ante Diversas Condiciones de Manejo
- Optimización en la Estabilidad y Operación del Motor
- Reducción de Pérdidas por Vaporización

- Minimización del Golpeteo o "Detonación"
- Facilidad en el Mantenimiento y Diagnóstico
- Aumento la Longevidad del Motor

Eficiencia Energética y Reducción de Emisiones

La optimización del uso energético y la disminución de emisiones son dos de las ventajas más significativas: Estos avances tecnológicos en la inyección permiten un control más exacto sobre la entrega de combustible, lo cual influye de manera directa en cómo funciona el motor, su eficiencia en el uso del combustible y la cantidad de emisiones que produce.

La eficiencia energética se define como la habilidad del motor para transformar la energía del combustible en trabajo útil, como el movimiento.

Una de las ventajas más destacadas de la inyección electrónica es su efectividad en minimizar las emisiones contaminantes generadas por el motor. (Montenegro Tobar, 2019)

Mejora en la Eficiencia de Combustión

La eficacia del proceso de combustión señala la habilidad del motor para transformar el combustible en energía útil (movimiento) de manera efectiva, que reduce al mínimo las pérdidas de energía y limita la emisión de contaminantes. (Lizarraga Aguirre & Salazar Ruiz, 2021)

Reducción de combustible malgastado: A diferencia de los carburadores, que muchas veces luchan por conservar una mezcla adecuada, la inyección electrónica asegura que el motor no reciba ni más ni menos combustible del necesario, disminuir así el derroche de energía.

La inyección electrónica permite que el combustible sea introducido de manera precisa y directa en la cámara de combustión, lo que asegura que se atomice correctamente y se mezcle uniformemente con el aire.

La optimización de la eficiencia de la combustión no solo resulta en una mayor potencia y ahorro de combustible, sino también en una reducción de las emisiones contaminantes.

Los sistemas de inyección electrónica ayudan a reducir la acumulación de residuos de carbono en válvulas, inyectores y otros elementos del motor. Esto se debe a la entrega más precisa y eficiente del combustible y a una atomización mejorada

Respuesta y Adaptabilidad en Rally

El funcionamiento del motor en entornos competitivos (como en carreras de coches, motocross, rally o cualquier otra actividad de motor) es esencial para el desempeño general del automóvil. Las situaciones de competencia demandan que el motor esté ajustado para proporcionar el máximo rendimiento, fiabilidad y control en circunstancias extremas.

La EFI permite que la Unidad de Control Electrónico (ECU) modifique instantáneamente la unión de combustible y el momento de ignición basado en la demanda del motor y las circunstancias de manejo.

Versatilidad ante Condiciones Cambiantes del Rally

La ECU modifica constantemente la mezcla de aire y combustible, así como la sincronización de encendido, depende de factores como la temperatura del motor, la altitud y el tipo de superficie (resbaladiza, seca, húmeda).

Mejoras en la Gestión del Combustible durante el Desempeño en Competencia

Esto conlleva una notable reducción del desperdicio de combustible y un mejor manejo de la temperatura del motor. Además, la EFI permite un diagnóstico y optimización continua que contribuye al control de emisiones y al cumplimiento de normativas ambientales. (Regueiro, 2016)

Casos de Éxito y Aplicaciones en el Automovilismo

La inyección electrónica de combustible ha revolucionado el automovilismo, ofrece importantes avances en el desempeño, la durabilidad y la eficacia en varias disciplinas de competición.

La Relevancia de la ECU y la Mejora del Desempeño

Optimización del rendimiento del combustible, facilita que los automóviles den más vueltas sin necesidad de llenar el tanque, lo que mejora las tácticas de carrera.

Rally: Mejora en Superficies y Situaciones Difíciles

Experiencias Previas de Conversión en Vehículos de Competencia

La inyección electrónica proporciona una gestión precisa de la mezcla de combustible para una gran eficiencia y una optimización de la potencia en tiempo real. Las experiencias acumuladas en este proceso revelan que la inyección electrónica no solo mejora el rendimiento general de los vehículos, sino que también incrementa su fiabilidad y permite una rápida adaptación a las diversas condiciones de la pista o del terreno, consolidándose como una tecnología fundamental en los vehículos de competición contemporáneos. (Espada Parguiña, 2023)

Resultados en Vehículos de Rally

1. Aumento de Potencia y Reacción del Motor
2. Mejora en la Eficiencia del Combustible
3. Incremento de la Fiabilidad y Longevidad del Motor
4. Capacidad de Adaptación a Diferentes Terrenos
5. Mejora de la Estabilidad y Control del Vehículo
6. Influencia en las Estrategias de Carrera

El sistema de inyección electrónica da a los equipos de rally la capacidad de realizar cambios en la configuración del motor de manera inmediata para adaptarse a sus estrategias durante la carrera

Comparaciones con Otros Sistemas de Alimentación

Inyección Electrónica en Contraste con Carburador

El carburador es un dispositivo más antiguo que se empleó de manera extensiva en automóviles de competición antes de que se implementara la inyección electrónica de combustible

La inyección directa de combustible es una tecnología contemporánea que también ha encontrado su lugar en vehículos de alto rendimiento, incluidos los de competición. (Parra Cárdenas & Cacuango Tuquerrez, 2022)

Inyección Electrónica en Relación a Sistemas Mecánicos de Combustible

Los sistemas mecánicos de entrega de combustible, que incluyen tanto carburadores como bombas de combustible convencionales, todavía se utilizan en ciertos modelos de vehículos clásicos y de carreras. (Paredes Lara, 2021)

Inyección Electrónica y Sistemas de Alta Eficiencia

En algunos motores de alto rendimiento, especialmente en autos de competición, se emplean sistemas de inyección secuencial avanzados. Estos dispositivos permiten que cada inyector se active de manera individual. (Sandovalin-Malitaxi et al., 2022)

Aunque la EFI puede requerir una inversión inicial más alta en términos de instalación y piezas, a largo plazo, sus ventajas en cuanto a desempeño, eficiencia de combustible y confiabilidad llevan a una reducción en los gastos operativos durante las competiciones.

Menos necesidad de mantenimiento y reparaciones: La EFI minimiza el desgaste y la frecuencia del mantenimiento, resulta en costos de reparación más bajos a largo plazo.

Mayor período de operación sin inconvenientes: Gracias a la mejora continua, los vehículos con EFI sufren menos fallos de motor y ofrecen un rendimiento más consistente en las carreras.

Casos Notables en el Automovilismo

En el mundo del automovilismo, la incorporación de este sistema (EFI) ha transformado de manera significativa el rendimiento, la fiabilidad y la eficiencia de los coches de competición. Existen varios ejemplos de cómo la EFI ha marcado la pauta en algunas de las competiciones más prestigiosas. A continuación, se analizo algunos de los casos más destacados en los que la inyección electrónica ha sido fundamental para el éxito de vehículos y equipos en el ámbito deportivo.

Metodología

La metodología empleada en este estudio se basará en una investigación experimental y comparativa, con la finalidad de evaluar los efectos de convertir un vehículo forza1 de carburador a un sistema de inyección electrónica

Selección del vehículo y caracterización inicial

En primer lugar, en la figura 11 se van a analizar y verificar las distintas partes que componen al sistema tanto mecánicas como electrónicas del motor, esto nos permite observar qué partes se van a retirar y qué parte se conservan para realizar una adaptación correspondiente.

Figura 11

Forza 1 elementos del sistema mecánico

Nota: Partes a retirar del sistema mecánico

Pruebas de torque y potencia con el sistema a carburador en el dinamómetro

Las pruebas de rendimiento se realizaron en el taller donde se recopilan distintos datos de eficiencia del Suzuki Forza 1 como vehículo de conversión.

Se debe seguir una metodología adecuada para la instalación del vehículo en el dinamómetro.

Figura 12

Vehículo Forza 1 a intervenir

Nota: Auto de características donde se desarrollará la conversión

1. La imagen 13 indica el ingreso del vehículo a las instalaciones del taller
2. *Nota:* Esquema básico de un sistema de inyección multi punto
3. Se debe colocar en los rodillos y asegurar de una manera óptima para la prueba

Figura 13

Revisión del automóvil

Nota: Instalaciones del taller

4. Posteriormente se activa el computador para realizar las pruebas con el dinamómetro por medio del software especializado de la figura 14.

Figura 14

Software especializado

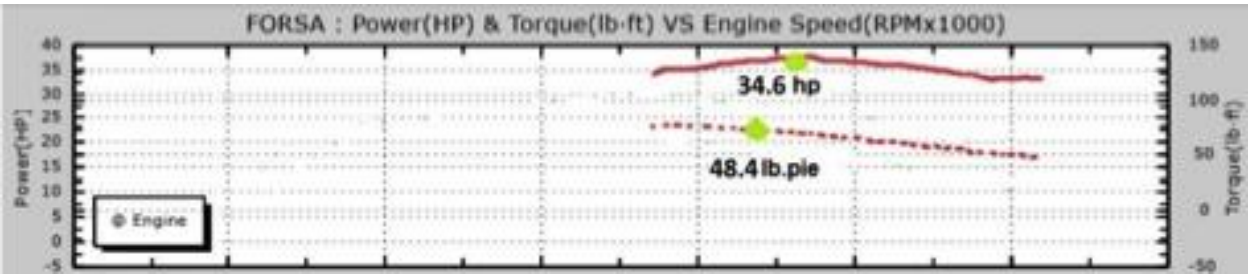
Nota: Equipos básicos del software

5. Se realizan distintas pasadas con la finalidad de determinar el torque y la potencia registrada. Según la figura 15 se ve el sistema de carburador por medio de la prueba del dinamómetro:

Se observa una curva de potencia que promedia en un valor de 34,6 Hp, y un torque de 48.4 lb/ft en un intervalo de velocidad en revoluciones por minuto que oscila desde 2400 a 3600 RPM. De esta manera se observa el comportamiento del vehículo con el sistema de carburador

Figura 15

Características iniciales de torque y potencia



Nota: Valores estimados de toque igual a 48,4 lb.ft y potencia de 34,6 hp

Implementación de la conversión a inyección electrónica

La adaptación de la inyección electrónica en la presente investigación se fundamentará en la inyección multipunto esta es adaptada y acoplada a vehículos que tienen un motor a carburador.

Para el análisis se seleccionó una inyección multipunto la cual permitirá que se bombee combustible a cada cilindro lo que incrementa la eficiencia, al momento de entregar una cierta cantidad de combustible a cada cilindro lo que mejora; el torque del vehículo y la potencia del mismo.

El objetivo de la instalación de una inyección multipunto permitirá adaptar al motor distintas partes y accesorios electrónicos cómo es el ECU y distintos sensores que permitirán que funcione el motor. Otra característica muy importante es al instalar este tipo de inyección electrónica permite que la alimentación de aire y combustible sea de manera más eficiente y se pueda controlar mediante la programación. Con la finalidad de que esto sirva de acuerdo a la necesidad que se requiera.

Desmontaje de partes del sistema de alimentación a carburador

A continuación, se realizará el desmontaje de las partes del sistema de alimentación del carburador ya que se debe tomar al tanto de qué elementos mecánicos se debe quitar para

proceder a adaptar de manera correcta el sistema electrónico A continuación se detalla el procedimiento para su extracción

1. Con las llaves número 12 se desmonta en múltiple de admisión del cabezote
2. Se desinstala el carburador con las conexiones eléctricas y accesorios que van conectados al combustible
3. Se desinstala el múltiple y el depurador

Figura 16

Desinstalación múltiple y depurador

Nota: Desmonta todos los sistemas componente por componente

Es muy importante remover el depurador de aire posteriormente al desmontar el carburador con las diferentes características de los accesorios. Al realizar esto se prosigue en desconectar todas las mangueras que van hacer remplazadas del combustible las cuales permiten dotar de un flujo y sean resistentes a la variación de la presión de la bomba de combustible. Según la figura se observa el desmontaje del sistema de admisión.

Figura 17

Desmontaje sistema de admisión

Nota: Desmonta todos los sistemas de admisión

Sistema eléctrico

EL cableado del sistema no será remplazado ya que permite añadir distintos nuevos ramales que sean necesarios para instalar el ECU.

Además, es muy importante que las conexiones eléctricas permanezcan para futuros casos donde se desee revertir el proceso.

Componentes mecánicos adaptables

Es de vital importancia colocar las nuevas partes del motor con el objetivo de tener problemas diversos como perdidas de combustible o de aceite que afecten la vida útil del sistema a implementarse dentro de estos se tiene:

Múltiple de admisión

Este mecanismo permite que exista un paso del aire además del combustible al motor, en este caso se coloca el múltiple se lo diseño específicamente para poder colocar los cuerpos de aceleración independientes esto mediante la ayuda de unas mangueras de alta presión para sostener a los mismos, se los hizo de acero inoxidable y se utilizó una suelda mig, el múltiple se fabricó con el cálculo necesario para poder decidir la inclinación y ubicación del mismo para obtener el mayor desempeño en las carreras de rally para lo cual en esencia será utilizado el

vehículo, el diámetro de cada orificio del múltiple es de 38mm lo cual está ubicado junto al cuerpo de aceleradores independientes que posee el mismo.

Figura 18

Desinstalación múltiple de admisión

Nota: Esquema del múltiple de admisión desmontado

Implementación de Individual Throtte Body (ITB)

En este caso se utilizaron unos ITBS que tienen un diámetro de 38mm, ya que es un motor 1150cc, los mismos que cuentan con riel de inyectores, inyectores, sensor TPS, sensor IAC y mangueras como se indica en la figura es de marca Kehin de 3 bocas.

Figura 19

Individual Throtte Body

Nota: 3 ITBS

Inyector de gasolina

Los inyectores son puestos a compresión y sellados totalmente en los orificios que posee el riel de inyección, también en los diferentes conductos de los ITBS que van al interior de la cámara de combustión. Para comunicarse los inyectores con la ECU MegaSquirt II se lleva a cabo mediante un socket de forma particular por cada conector del inyector el cual está unido al arnés de cables que van unidos a la ECU y también al motor.

Figura 20

Inyector de gasolina

Nota: Desmontaje del sistema de inyector de gasolina

Rueda fónica

Esta rueda va unida a la polea del cigüeñal, para poder colocarla se desmontó la polea. A la rueda fónica se le hizo una adaptación para que de esta forma su diente perdido coincida a 12 dientes de donde se situó el sensor CKP, para esto se utilizó una rueda fónica 36-1, de la misma manera esta adaptación coincide con una marca la cual tiene el motor, esta marca nos indica que el pistón número 1 del 1er cilindro ha alcanzado el PMS dentro del tiempo establecido de compresión, esto se lleva a cabo para sincronizar a la rueda fónica con el salto de la chispa en las

bobinas del encendido. Para poder fijar la rueda fónica se utilizaron 4 pernos y una base pequeña la cual se fabricó en acero inoxidable

Figura 21

Rueda fónica desmontaje

Nota: Creación propia de la rueda

Adaptación partes electrónicas

La mayoría de las partes adaptadas terminan siendo electrónicas que son fundamentales para un correcto funcionamiento del motor.

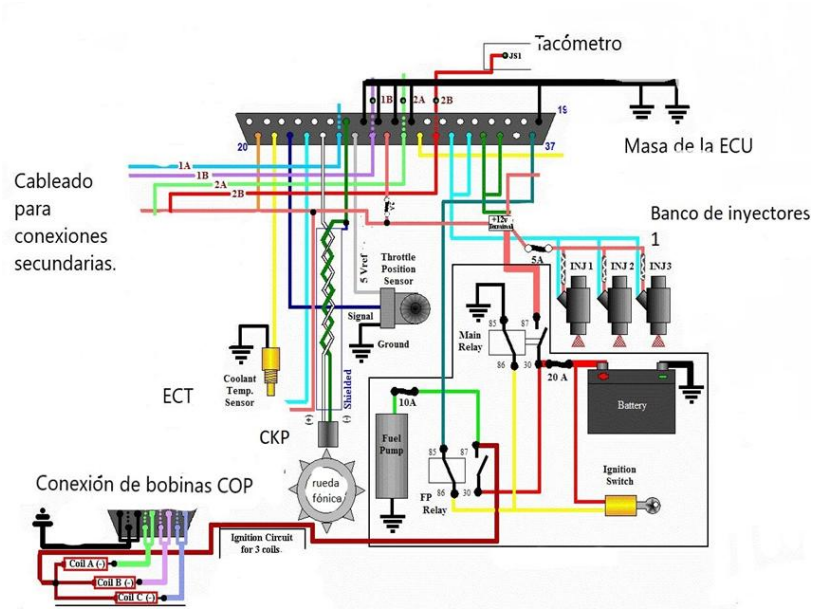
ECU Mega squirt II

Para la transformación de sistema de alimentación de gasolina actual de carburador a un sistema de inyección programable se utilizó sensores básicos para tomas de lectura que comuniquen al ecu programable MegaSquirt II y esta a su vez transmita o de órdenes a los distintos actuadores para el óptimo funcionamiento del sistema. Además, se tuvo que realizar varias adecuaciones y acoples de nuevas piezas y elementos que se aumentaron en el automóvil para que este pueda funcionar de manera correcta y eficiente con el nuevo sistema de alimentación de combustible este mejorara el performance del mismo. Lo primero que se tuvo que hacer es el diagrama de instalación de la ECU para que este funciona de manera correcta y eficiente es así que se decidió conectar la ECU de la siguiente manera.

- Facilidad de conseguir los repuestos como microprocesadores, condensadores, resistencias, etc.
- Mayor facilidad para el aprendizaje del funcionamiento de la ECU, con una interfaz más sencilla y comprensible. Obteniendo los mismos o mejores resultados.
- La ECU MS-II puede controlar de 1 hasta 12 cilindros.

Figura 22

Ecu mega squirt II



Nota: Esquema del ECU

Adaptación Bombas y bobinas

En esta sección se realiza la adaptabilidad de las partes electrónicas según el siguiente orden.

Bomba de combustible

Se escogio una bomba de combustible marca BOSCH de alta presión de 3-4.5 Bar, la cual fue adaptada dentro del tanque de combustible por medio de una varilla metálica, la cual va cubierta con manguera resistente a la gasolina, la misma utiliza un socket con dos cables. El uno

funciona como una especie de masa conectado en el chasis del vehículo, y el otro va hacia un relay el cual es encargado de controlar la ECU Megasquirt II.

Figura 23

Bomba de combustible

Nota: Instalación bomba Bosch.

Regulador de presión de combustible

Se uso un regulador regulable de marca TOMEI, el cual se caracteriza por poder regular la presión según la necesidad de la persona al mando, por ejemplo, en cuento la presión está en el interior del sistema de alimentación de gasolina llega a esa presión la válvula reguladora de presión es abierta de esta forma el combustible regrese al tanque. Este regulador funciona con el vacío que se genera en una de las mangueras de los ITBS.

Figura 24

Regulador de presión del combustible

Nota: Instalación del regulador

Bombas independientes

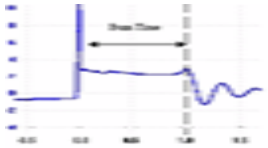
En nuestro caso de estudio se utilizo bobinas independientes para obtener como resultado una mejor chispa en cada uno de los cilindros y gracias a ello obtener una mejor combustión y por ende un mayor rendimiento, esto también favorece para tener una calibración más fina. Fue adaptado gracias a una base metálica la cual sostiene las bobinas y va empernada en el múltiple de admisión, utiliza cables de bujía hechos a medida y cada bobina posee dos cables, uno que es alimentación de 12v y el otro que controla el salto de chispa por medio de la ECU Megasquirt II.

Bobinas

En nuestro caso de estudio se utilizó bobinas independientes para obtener como resultado una mejor chispa en cada uno de los cilindros y gracias a ello obtener una mejor combustión y por ende un mayor rendimiento, esto también favorece para tener una calibración más fina. Fue adaptado gracias a una base metálica la cual sostiene las bobinas y va empernada en el múltiple de admisión, utiliza cables de bujía hechos a medida y cada bobina posee dos cables, uno que es alimentación de 12v y el otro que controla el salto de chispa por medio de la ECU Megasquirt II.

Tabla 1

Valores actuador de bobinas

Valores Actuador bobinas		
Señal	Negativa activada por la ECU	
Voltaje	12 v	
Color de cables	Bobina (rojo-café), bobina2 (rojo-verde), bobina 3 (rojo verde y blanco)	
Procedencia	Hitachi	
Resistencia	5,8 ohm	

Nota: valores de operación de las bobinas

Figura 25

Instalación bobinas

Nota: Se observa la instalación de las bobinas con las características indicadas en la tabla

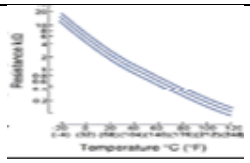
Adaptación de sensores

Sensor ECT

Este sensor es muy particular va directamente adaptado sobre el múltiple de admisión específicamente en el canal que lleva el líquido refrigerante desde el radiador hacia el cabezote, ya que ubicado en este sitio podrá calcular de forma eficiente la temperatura del motor mientras dure el tiempo que funciona, compuesto por un socket de 2 cables los cuales se enlazan fácilmente al arnés de cables que van conectados a la ECU MegaSquirt II.

Tabla 2

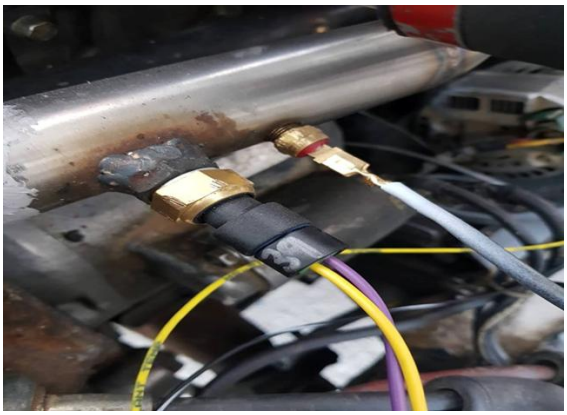
Valores sensor ECT

Valores sensor ECT		
Señal	80-850 mV	
Voltaje	5V	
Color de cables	amarillo y café	
Procedencia	GM	
Resistencia	9420 ohm a 20 C 241 ohm a 90 C	

Nota: Operación sensor ECT

Figura 26

Sensor ECT



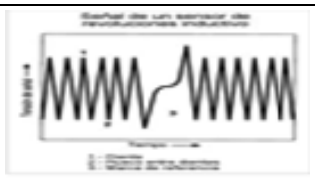
Nota: Características físicas del sensor ECT

Sensor CKP

Este sensor se transmite con la rueda fónica, debido a esto se ubicó al sensor por medio de una base empernada junto a la bomba de aceite, esto nos ayuda que el extremo del sensor CKP se encuentre situado a una longitud de 1 mm referente a los dientes que tiene la rueda fónica. Este sensor en particular se encuentra en sincronización con la rueda fónica para lograrlo se realiza este procedimiento hasta que el doceavo diente sin contar el diente perdido de la rueda coincida justo con el extremo del sensor, claro está que estos datos son para nuestro caso en específico es decir una rueda de 36 dientes con 1 faltante como es nuestro caso, el propósito es que este en sincronía el adelantamiento de salto de chispa dentro del tiempo que provoca la ignición el motor de una manera precisa.

Tabla 3

Valores sensor CKP

Valores sensor CKP (inductivo		
Señal	1,2 - 2,5 V	
Voltaje	5V	
Color de cables	Blanco y azul	
Procedencia	GM	

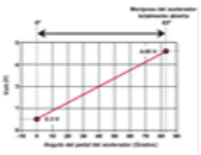
Nota: Operación sensor CKP

Sensor TPS

Este sensor se encuentra colocado en el cuerpo de los ITBS, el mismo que tiene comunicación directa hacia la mariposa de aceleración mediante 1 eje, ya que, al girar la mariposa de aceleración el sensor TPS lo que hace es ir calcular la ubicación de la misma mientras se desplaza. El sensor se comunica gracias a un socket que tiene tres cables unidos con el arnés de cables de la ECU MegaSquirt II.

Tabla 4

Valores sensor TPS

Valores sensor TPS		
Señal	0,5 - 4,65 V	
Voltaje	5V	
Color de cables	verde(voltaje); señal(café): negro(tierra)	
Procedencia	Triumph electronics	
Resistencia	1,1 K ohm (ALETA CERRADA)	
Resistencia	4,8 K ohm (ALETA ABIERTA)	

Nota. Operación sensor TPS

Figura 27

Ubicación sensor TPS

Nota: Instalación sensor TPS

Sensor MAP

Este sensor está implantado en el interior de la ECU MegaSquirt II, de esta manera el sensor interno percibe la señal y pueda realizar el cálculo de los datos los cuales viajan por un conducto de manguera de alta presión la cual está instalada en una toma de vacío que poseen los ITBS.

Pruebas y Calibraciones

La ECU MegaSquirt II es una computadora que se pueden reprogramar más completas que existe actualmente en el mercado ecuatoriano, ésta se puede modificar en tiempo real, por ejemplo, tiempo de ignición y tiempo de inyección de la gasolina, problemas barométricos, correcciones que tienen que ver con la temperatura del aire o del refrigerante, así como la eficiencia del volumen del motor.

Software Tuner Studio MS

Para poder llevar a cabo la comunicación entre la ECU del automóvil y la computadora de mesa para realizar los cambios y calibraciones necesarias, y de esta manera obtener la mayor eficiencia y potencia del automóvil.

Figura 28

Softwarw Tuner Studio Ms

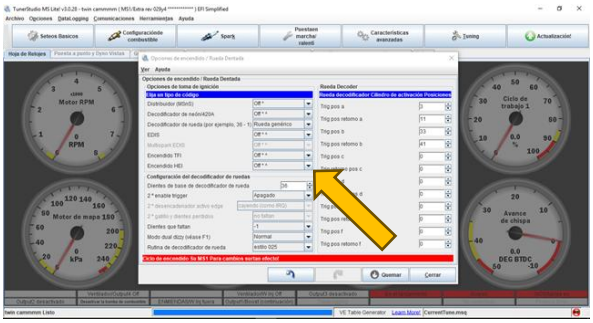
Nota: Interfaz gráfica del software

Ajuste de Rueda fónica y encendido

En la imagen se observa el ajuste que nos permite configurar los puntos de referencia del cigüeñal, así como el tipo de encendido deseado. De esta manera, se procede a encender el vehículo y realizar las calibraciones de la inyección de manera eficiente y sincronizada.

Figura 29

Calibración rueda fónica



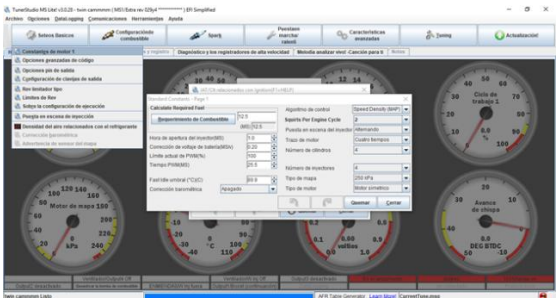
Nota: Interfaz gráfica indica dar clic izquierdo en spark; se escoge la opción stim; clic izquierdo en spark y se selecciona la opción encendido

Control sobe la inyección

Gracias al cuadro de ajustes se puede medir la cantidad de combustible que se requiere o los pulsos de inyección en cada ciclo, con la ayuda de los datos que se observa a continuación:

Figura 30

Control de inyección



Nota. Se indica realizar clic izquierdo en ceteos básicos; se escoge la opción que dice “constantes del motor”

Calibración TPS

En la siguiente imagen se observar el proceso de calibración del TPS. Para llevar a cabo la calibración, se toma una medición con la aleta del acelerador completamente cerrada y otra medición con el acelerador a fondo. Posteriormente, se guardan estas calibraciones para asegurar el correcto funcionamiento del sensor TPS.

Figura 31

Calibración del TPS

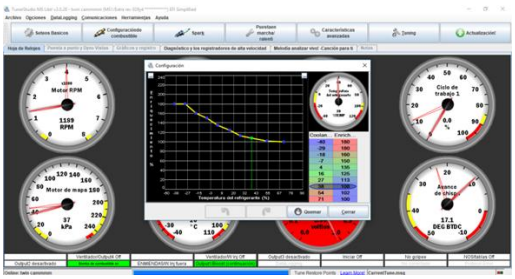
Nota. Realizar clic en herramientas posteriormente se escoge la opción “calibración TPS”

Calibración arranque en frio

En la figura que se muestra a continuación, se denota el cuadro de ajustes donde se pueden realizar cambios para el arranque en frío. Este ajuste se basa principalmente en la medición del sensor ECT, lo que permite arrancar el vehículo cuando está completamente frío, es decir, por la mañana o después de un largo período de inactividad.

Figura 32

Calibración arranque en frio



Nota. Clic en configuración combustible, asistente de aceleración, seteo básico, densidad aire

Calibración ajuste de encendido

La tabla siguiente presenta los datos en dos dimensiones: el eje X muestra las revoluciones del motor (rpm) y el eje Y indica la carga del motor en porcentaje (%). Esta es solo una de las variantes disponibles que permite ajustar el avance del encendido, tomando como parámetro inicial el ralentí del automóvil, antes de arrancar el motor. La MegaSquirt facilita realizar ajustes adicionales cuando el motor está encendido, mediante un mapa de encendido denominado 'cartografía de ignición', el cual se representa en tres dimensiones y en tiempo real

Figura 33

Calibración ajuste encendido

Nota. Clic en spark, tabla 1 de chispa; posteriormente se da clic en diagnóstico de encendido donde se despliega una tabla de velocidad, finalmente se da clic en tooth logger

En las diversas pruebas realizadas, se ajustó el encendido como referencia un avance de 14°. Si el valor de avance es superior a 14°, el motor pierde fuerza y puede producir detonación. Por otro lado, si el avance de encendido es menor, el motor requiere bujías de otro grado térmico,

ya que la mala combustión puede causar un sobrecalentamiento. Los picos descendentes observados indican un retraso significativo en el encendido, lo que provoca un barrido rápido de los gases de escape, lo que genera falsas explosiones y, como efecto colateral, se reduce la contrapresión dentro del sistema de escape.

Enriquecimiento por eficiencia volumétrica

Gracias a la cartografía de la eficacia volumétrica, ahora es posible ajustar el ciclo de trabajo de la sonda lambda en función de las revoluciones del motor. Para lograr una calibración precisa de este parámetro específico, es necesario realizar una prueba de ruta, de modo que la calibración se lleve a cabo bajo la carga real del motor.

Figura 34

Eficiencia volumétrica

Nota. Clic en spark, posteriormente se escoge la opción rotary; configuración DWELL

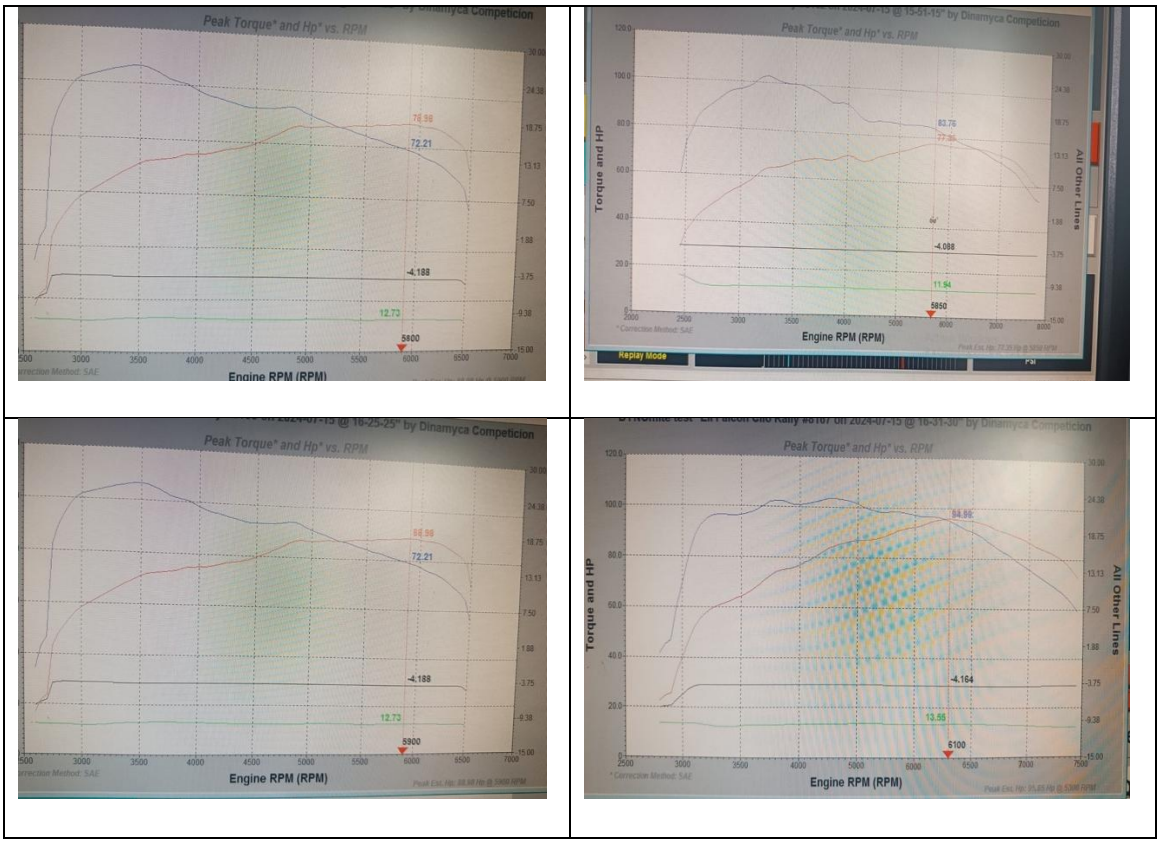
Resultados de la prueba del dinamómetro

A continuación, se describe la variación del torque a medida que aumentan las revoluciones por minuto. En la primera imagen, se observa un torque de 72.21 libras-pie a 5800 rpm. En el segundo escenario, se alcanza un torque máximo de 71.35 libras-pie a 5850 rpm. Al incrementar las revoluciones a 5900 rpm, el torque vuelve a ser de 72.21 libras-pie. A 6100 rpm, se registra un torque de 95.86 libras-pie. Finalmente, a 6150 rpm, se obtiene un torque máximo de 82.82 libras-pie. En conclusión, la variación del torque con respecto a las revoluciones por

minuto muestra un comportamiento no lineal. Se observa un incremento en el torque hasta alcanzar un valor máximo de 95.86 libras-pie a 6100 rpm, seguido de una ligera disminución a 6150 rpm. Estos resultados destacan la importancia de optimizar el rango de revoluciones para maximizar el torque y el rendimiento del motor en diferentes condiciones de operación.

Figura 35

Eficiencia volumétrica



Nota. Descripción de los gráficos del dinamómetro

Discusión de Resultados

Eficiencia del dinamómetro con carburador

Por medio del uso del dinamómetro se desarrollan las distintas pruebas de torque y potencia, para ello se evalúa con el sistema a carburador e inyección electrónica. La tabla 5 y figura 37 presentan las condiciones actuales del vehículo Fuerza 1, que opera con carburador y genera una potencia de 34.6 caballos de fuerza a 3000 revoluciones por minuto. Asimismo, alcanza un torque de 48.4 libras-pie a 4000 revoluciones por minuto. Estas variables serán utilizadas para realizar la comparativa con el sistema de inyección electrónica.

Tabla 5

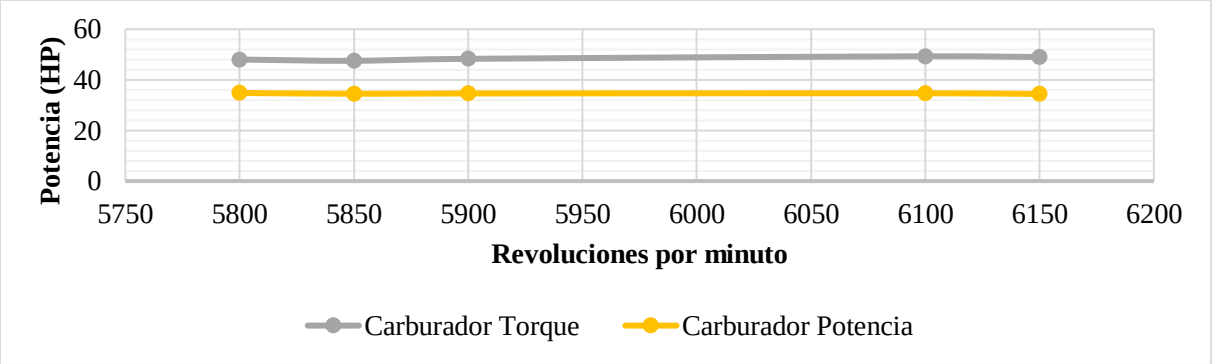
Eficiencia del dinamómetro a carburador

Variable	Unidades	Cantidad	RPM
Potencia	HP	34,6	3000
Torque	lb-ft	48,4	4000

Nota. Condiciones actuales de potencia y torque Forza 1

Figura 36

Potencia y Torque a carburador



Nota. Se observa la variación del torque y potencia en un rango de 5800 a 6150 rpm

Eficiencia del dinamómetro con inyección

En la tabla 6 se presentan los resultados de la inyección electrónica, donde el grado de la barra de levas se mantuvo constante en 310. El avance de encendido, o ángulo, varió entre 32° y 38°. El ancho de pulso oscila entre 10 y 22 milisegundos. En cuanto a la relación entre las revoluciones por minuto (rpm) y la potencia medida en caballos de fuerza (hp), se observó que en el rango de 5800 a 6150 rpm se alcanzó una potencia estimada de 89.08 hp. Por otro lado, la relación entre el torque y las revoluciones por minuto en el mismo rango de 5800 a 6150 rpm resultó en un valor de 78.89 libras-pie.

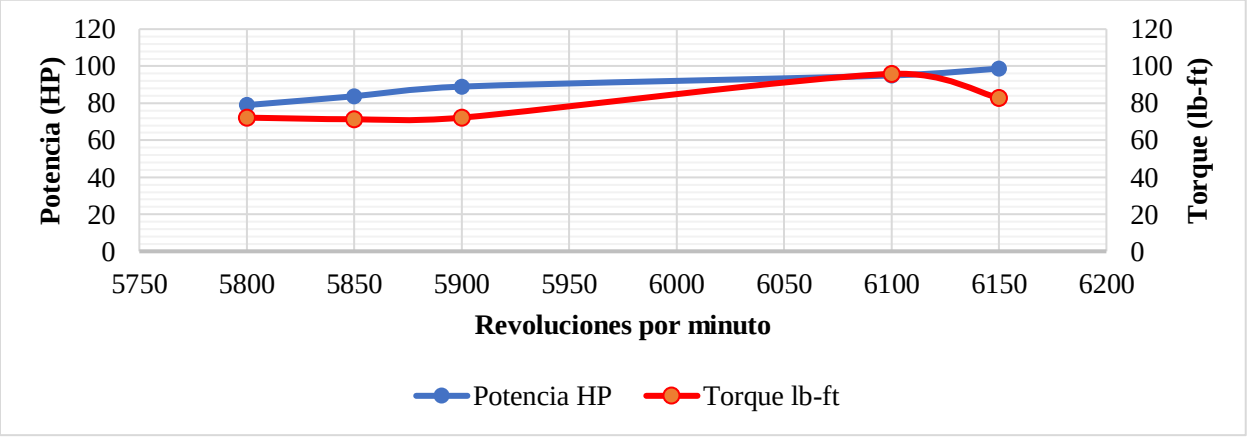
Tabla 6

Eficiencia del dinamómetro a inyección

Resultados Inyección electrónica					
Grado de la barra de levas	**Ancho de pulso ms**	**Avance de encendido o angulo**	**Revoluciones por minuto RPM**	**Potencia HP**	**Torque lb-ft**
310	10	32	5800	78,98	72,21
310	18	32	5850	83,76	71,35
310	20	36	5900	88,98	72,21
310	24	32	6100	94,98	95,86
310	22	38	6150	98,7	82,82

Figura 37

Potencia y Torque en la inyección



Nota. Se observa la variación del torque y potencia en un rango de 5800 a 6150 rpm en inyección

Análisis comparativo

La tabla muestra la comparación de los resultados entre la inyección electrónica y el carburador que originalmente tenía el Forza 1. Los análisis se realizaron en un intervalo de revoluciones por minuto de 5800 a 6150. Con el carburador, se alcanzó una potencia máxima de 34.6 HP y un torque máximo de 48.42 libras-pie. Al realizar la conversión a inyección electrónica, los resultados obtenidos para el Forza 1 fueron una potencia de 89.08 HP y un torque de 78.89 libras-pie. Estos resultados comparativos se pueden observar en la figura

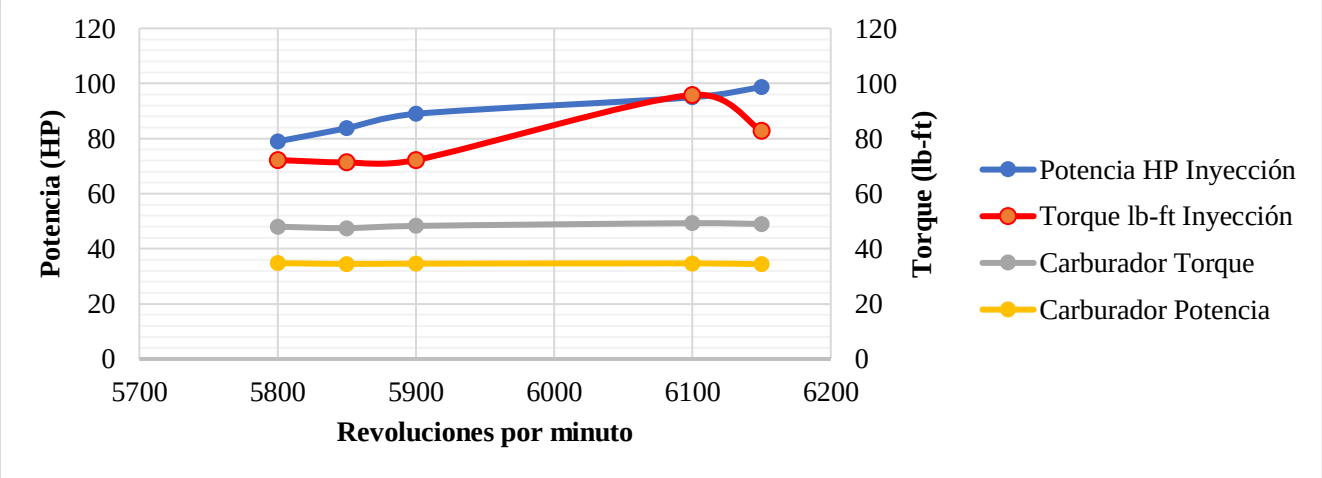
Tabla 7

Eficiencia comparativa de torque y potencia

Resultados Inyección electrónica						Carburador	
Grado de la barra de levas	**Ancho de pulso ms**	**Avance de encendido o angulo**	**Revoluciones por minuto RPM**	**Potencia HP**	**Torque lb-ft**	**Potencia HP**	**Torque lb-ft**
310	10	32	5800	78,98	72,21	34,8	48
310	18	32	5850	83,76	71,35	34,5	47,5
310	20	36	5900	88,98	72,21	34,6	48,3
310	24	32	6100	94,98	95,86	34,7	49,3
310	22	38	6150	98,7	82,82	34,4	49
				89,08	78,89	34,6	48,42

Figura 38

Comparación de potencia y torque carburador e inyección

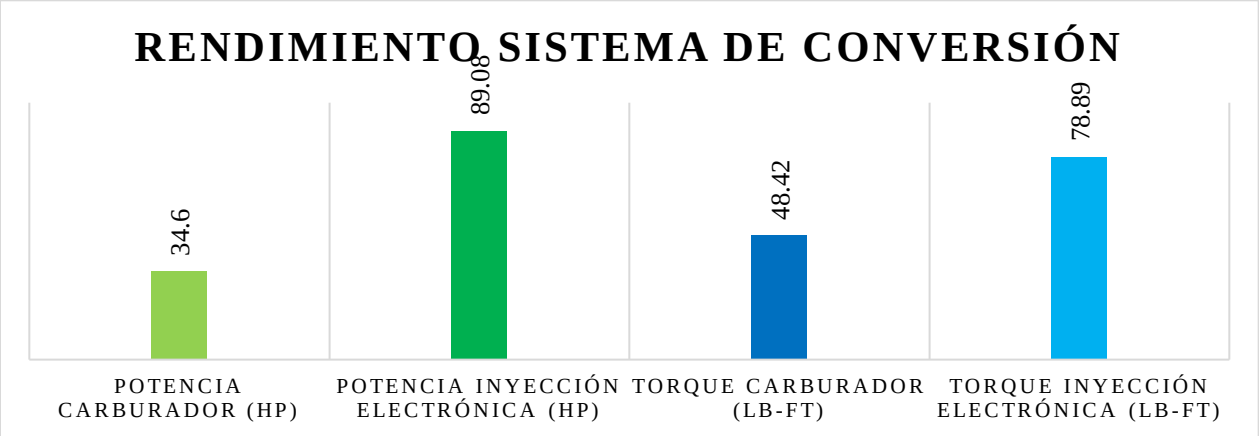


Nota. Se observa la variación del torque y potencia en un rango de 5800 a 6150 rpm en inyección

Los resultados obtenidos al comparar el sistema de inyección electrónica con el carburador original del Forza 1 en la figura demuestran una mejora significativa en el rendimiento del motor, lo cual es crucial para vehículos de alto rendimiento, como los utilizados en competencias de rally. En un intervalo de revoluciones por minuto de 5800 a 6150, el motor con carburador alcanzó una potencia máxima de 34.6 HP y un torque máximo de 48.42 libras-pie. Sin embargo, tras la conversión a inyección electrónica, la potencia aumentó considerablemente a 89.08 HP, mientras que el torque alcanzó 78.89 libras-pie. Esta diferencia de rendimiento es notable y tiene un impacto directo en las capacidades del vehículo en condiciones de competencia. En el contexto de un vehículo de rally, donde las demandas de potencia, torque y respuesta del motor son críticas, la inyección electrónica ofrece una ventaja significativa. La mayor potencia y torque permiten al Forza 1 una aceleración más rápida, una mayor capacidad de respuesta en terrenos exigentes y una mejor gestión del combustible en condiciones variables, lo que es esencial en competencias de rally. La conversión a inyección electrónica optimiza el rendimiento, y proporciona al vehículo la potencia y fiabilidad necesarias para enfrentar los desafíos de una competición de alto nivel.

Figura 39

Resultados finales en el sistema de conversión



Nota. Se observa los valores de potencia y torque al implementar la conversión

Conclusiones

- El análisis de la eficiencia del dinamómetro con el carburador muestra que el Forza 1 produce una potencia máxima de 34.6 HP a 3000 RPM, junto con un torque de 48.4 lb-ft a 4000 RPM. Estos valores son indicativos de un rendimiento modesto en comparación con vehículos de alto rendimiento. El comportamiento del motor en el rango de revoluciones, de 5800 a 6150 RPM, refleja variaciones en el torque y potencia, pero en general, el sistema de carburador limita el potencial del vehículo, especialmente en condiciones exigentes como las de un rally. Este sistema establece una base comparativa con la inyección electrónica.
- Tras implementar la conversión a inyección electrónica, el Forza 1 mostró una mejora significativa en el rendimiento del motor. En un rango de 5800 a 6150 RPM, la potencia aumentó a 89.08 HP, mientras que el torque subió a 78.89 lb-ft. Estos incrementos de casi el 150% en potencia y el 60% en torque son cruciales para mejorar la respuesta del motor, especialmente en condiciones de competición. La inyección electrónica no solo optimiza la entrega de energía, sino que también asegura una mayor eficiencia en el uso de combustible y una respuesta más ágil en terrenos difíciles.
- El análisis comparativo entre el carburador y la inyección electrónica revela un cambio radical en el rendimiento del Forza 1, especialmente en el contexto de competiciones de rally. La conversión proporcionó un aumento significativo en la potencia y torque, con un salto de 34.6 HP a 89.08 HP y un incremento de torque de 48.42 lb-ft a 78.89 lb-ft. Estos resultados se traducen en un vehículo mucho más capaz de responder a las demandas de aceleración y maniobrabilidad en terrenos difíciles. La inyección electrónica mejora la

eficiencia del combustible, la fiabilidad y el rendimiento general, lo que la convierte en una opción ideal para competiciones de alto nivel.

Recomendaciones

- Es recomendable continuar con la calibración y optimización del sistema de inyección electrónica para maximizar su rendimiento. Aunque se logró una mejora significativa en potencia y torque, un ajuste más fino del avance de encendido, el ancho de pulso y otros parámetros podría mejorar aún más la eficiencia del motor, adaptándolo a diferentes condiciones de carrera. Realizar pruebas bajo distintas cargas y condiciones de manejo permitirá obtener los mejores valores posibles de rendimiento, asegurando la máxima competitividad del Forza 1 en rallys.
- Dado que el motor con inyección electrónica mostró un aumento considerable en la potencia y el torque en el rango de 5800 a 6150 RPM, se recomienda evaluar el comportamiento del motor a revoluciones más altas. Esto podría permitir identificar posibles mejoras en la respuesta del motor, ya que el vehículo podría beneficiarse de una mayor potencia en rangos superiores a 6150 RPM, optimizando aún más la capacidad de aceleración y el rendimiento en carreras de alta demanda, como las de rally de larga duración o en tramos con aceleraciones intensas.
- El mantenimiento del sistema de inyección electrónica debe ser prioritario para garantizar la durabilidad y eficiencia del motor a largo plazo. Es crucial realizar revisiones periódicas de los sensores, la bomba de combustible y otros componentes electrónicos, ya que cualquier fallo podría afectar el rendimiento del motor en competencias. Implementar un programa de monitoreo constante permitirá detectar cualquier anomalía a tiempo,

asegurando que el vehículo mantenga su rendimiento superior en todas las condiciones de competencia, lo que será esencial para el éxito en rallys exigentes.

Listado de Referencia

Aguilar-Jaramillo, C. D., Gallo-Quispe, E. M., Calero-Torres, D. A., & Naranjo, J. I. G. (2022). Anólisis del funcionamiento en los sensores de inyección electrónica para controlar el consumo de combustible. *Dominio de las Ciencias*, *8*(2), Article 2. https://doi.org/10.23857/dc.v8i2.2673

Álvarez Álvarez, J. D., & Álvarez Peralta, J. L. (2023). *Transformación de un Sistema de Alimentación de Combustible con Carburador por un Sistema de Inyección Electrónica de un Motor 200 CC* [bachelorThesis, Universidad del Azuay]. http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/13367

Bosch, R. (2005). *Sistemas de inyección diesel por acumulador Common Rail*. Reverte.

Buendia, R. (2018). *Carburadores: Cómo funcionan y por qué están en extinción*.

Bustacara Rodríguez, R. S. (2018). *Análisis de emisiones en tres vehículos de encendido provocado por chispa (si spark ignition) con sistema de inyección multipunto.* https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/3204

Cabrera-Montie, W., Tapia-Fernández, S., Jiménez-Alonso, F., & Aparicio-Izquierdo, F. (2012, septiembre 1). *Optimización de consumo de combustible de vehículos basada en programación dinámica. | EBSCOhost*. https://doi.org/10.6036/4582

Castillo, J., Rojas, V., Martínez, J., Castillo, J., Rojas, V., & Martínez, J. (2017). Determinación del Torque y Potencia de un Motor de Combustión Interna a Gasolina Mediante el Uso de Bujía con Sensor de Presión Adaptado y Aplicación de un Modelo Matemático. *Revista Politécnica*, *39*(1), 49-57.

Chávez, S. B. R., & Huallpachoque, R. C. C. (2017). Estudio teórico de inyectores para combustibles alternativos. *INGnosis*, *3*(1), Article 1. https://doi.org/10.18050/ingnosis.v3i1.2022

Colcha Maldonado, J. P., & Miranda Reyes, O. V. (2011). *Diseño e implementación de un acelerador electrónico controlable en un vehículo a carburador.* [bachelorThesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/942

Cuenca Chamba, R. A. (2012). *Simulación y validación del flujo de aire en un carburador Tillotson para un motor de dos tiempos* [bachelorThesis, Universidad del Azuay]. http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5340

Denton, T. (2020). *Sistemas eléctrico y electrónico del automóvil.: Tecnología automotriz: mantenimiento y reparación de vehículos*. Marcombo.

Desarrollo de una unidad de control electrónico (ECU) dedicada al gobierno de motores de combustión interna. (s. f.). Recuperado 16 de febrero de 2025, de https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/11372

ECU: Sistemas electrónicos de inyección en motores de combustión interna. (s. f.). Recuperado 16 de febrero de 2025, de https://upcommons.upc.edu/handle/2117/9500

Espada Parguiña, M. M. (2023). *Conversión de un motor de carburación a inyección* [Master thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. https://upcommons.upc.edu/handle/2117/397064

García, F. (2017). *Los autos ya no usan carburador.* 23.

Guanga Pugo, F. G., Juela Fajardo, A. R., & Saldaña Méndez, C. E. (2013). *Diseño, construcción e implementación de un control electrónico para el comando del sistema de inyección*

mono-punto en un vehículo Suzuki Forza [bachelorThesis]. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5173

Guasumba Maila, J. E., Oramas Proaño, D. D., Galeano Vergara, H. F., & Vergara Hidalgo, E. V. (2021). El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado. *Dominio de las Ciencias*, *7*(Extra 4), 44.

Idrovo González, J. L., Pérez Pérez, W. H., & Puma Agudo, R. C. (2011). *Implementación del sistema de inyección multipunto controlado por computadora programable en un vehículo Datsun 1000* [bachelorThesis]. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1536

Lizarraga Aguirre, A. A., & Salazar Ruiz, W. J. (2021). Mejora de la eficiencia energética vehicular al medir la compresión de motores de combustión y la calidad de lubricantes en una planta de revisiones técnicas vehiculares. *Repositorio Institucional - UCV*. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/94373

Merlo, E. I. (2023). *Adaptación de un sistema de inyección electrónica a motor de ciclo Otto con carburador*. https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/8461

Montenegro Tobar, D. E. (2019). *Análisis de consumo energético y propuestas de mejora de eficiencia energética en las instalaciones de concesionaria de autos Ambacar, agencia Granados* [bachelorThesis, Quito: Universidad de las Américas, 2019]. http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/11510

Oliver, G., & María, J. (2015). Aportaciones al estudio del proceso de combustión turbulenta de chorros en motores diesel de inyección directa [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València]. En *Riunet*. https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/55164

Paredes Lara, T. V. (2021). *Capacitación en mecánica automotriz a los estudiantes de la Unidad Educativa Manuela Cañizares para el conocimiento del sistema de inyección electrónica*

de los vehículos a gasolina [bachelorThesis, BABAHOYO: UTB, 2021]. http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/10974

Parera, A. M. (1990). *Inyección Electrónica en Motores de Gasolina*. Marcombo.

Parra Cárdenas, J. B., & Cacuango Tuquerrez, W. S. (2022). *Estudio de reducción de consumo de combustible y emisiones contaminantes de un motor de 250cc de 4 tiempos con sistema de alimentación a carburador vs un sistema de inyección adaptado* [bachelorThesis]. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23444

Pineda Blanco, J. D. (2024). *Diseño de un banco de prueba para la atomización de combustibles líquidos y análisis experimental de la atomización de un fluido líquido en condiciones atmosféricas. Trabajo de grado*. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/43441

Quintana Rausell, E. (2015). *Proyecto de estación de servicio para suministro de combustibles a vehículos en carretera comarcal* [Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València]. https://riunet.upv.es/handle/10251/51538

Rodríguez Tapia, S. E., & Plasencia Caiza, W. G. (2021). *Adaptación de un motor de combustión interna a carburador a un sistema de inyección y verificación del torque y potencia en un dinamómetro*. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/16004

Sandovalin-Malitaxi, J. D., Correa-Sacan, E. D., Guasumba-Maila, J. E., & Calero-Torres, D. A. (2022). Los sistemas de Inyección Electrónicos y el Control de Gases. *Polo del Conocimiento*, *7*(4), Article 4. https://doi.org/10.23857/pc.v7i4.3828

Simbaña Arias, E. J., Coronel Valencia, C. A., Guasumba Maila, J. E., & Calero Torres, D. A. (2022). Carburadores vs inyectores, semejanzas y diferencias entre estos elementos del sistema de combustión. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, *7*(4 (ABRIL 2022)), 64.

SISTEMAS-DE-INYECCION-ELECTRONICA.pdf. (s. f.). Recuperado 16 de febrero de 2025, de https://tecnomaxequip.com.ar/wp-content/uploads/2020/11/SISTEMAS-DE-INYECCION-ELECTRONICA.pdf

Ureta Campos, I. E. (2021). *Impacto ambiental, social y económico de la conversión de una moto de combustión interna a eléctrica alimentada con energía solar*. http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6961