

Diseño e implementación del sistema de alimentación alternativo GLP de quinta generación para motores de combustión interna GDI

Design and implementation of the fifth generation LPG alternative feeding system generation for internal combustion engines GDI.

Guayanlema, Alejandro A, Feijoo Vivas Galo , Quiroz Leonidas

"Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE" /Departamento de Energía y Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz

Correspondencia Autores: aaguayanlema@espe.edu.ec /gafeijoo@espe.edu.ec/ laquiroz@espe.edu.ec

Recibido:16 de marzo 2024 , Publicado: 18 diciembre 2024

Resumen—

La investigación desarrolló e implementó un sistema de conversión a Gas Licuado de Petróleo (GLP) de quinta generación en un motor de inyección directa de gasolina (GDI), utilizando herramientas de ingeniería asistida por computador para el diseño, modelado y simulación de sus componentes. Cumplió con las normativas técnicas ecuatorianas NTE INEN 2 310 y NTE INEN 2 311, que regulan los requisitos mínimos de instalación, seguridad, y sostenibilidad técnico-económica en vehículos que operan con GLP. Se realizaron pruebas funcionales y operativas de los sistemas hidráulico, neumático, eléctrico y electrónico del sistema de alimentación, tanto en modo dual (GLP/gasolina) como en operación exclusiva con GLP. Estas evaluaciones siguieron protocolos que aseguran un funcionamiento seguro y eficiente. La calibración del motor se llevó a cabo mediante el software LANDI RENZO INJECTION SYSTEM DIRECT INJECTION, el cual gestiona parámetros clave como revoluciones, temperatura, tiempos de inyección y avance del encendido, en función de la programación de la unidad de control electrónico (ECU).

Palabras clave: GLP, simulación asistida, implementación del sistema, quinta generación, motor GDI.

Abstract— The research focused on developing and implementing a fifth-generation Liquefied Petroleum Gas (LPG) conversion system in a Gasoline Direct Injection (GDI) engine, using computer-aided engineering tools for designing, modeling, and simulating system components. The project complied with Ecuadorian technical standards NTE INEN 2 310 and NTE INEN 2 311, which establish minimum requirements for installation, safety, and technical-economic sustainability in LPG-powered vehicles.

Functional and operational tests were conducted on the hydraulic, pneumatic, electrical, and electronic components of the fuel system, in both dual mode (LPG/gasoline) and LPG-only operation. These tests followed established protocols to ensure safe and efficient performance. Engine calibration was performed using the LANDI RENZO INJECTION SYSTEM DIRECT INJECTION software, which manages key parameters such as RPM, temperature, injector activation times, and ignition advance based on the electronic control unit (ECU) mapping.

The study considered critical conditions for conversion, including engine temperature and rotational speed, enabling automatic switching from gasoline to LPG. A minimum gasoline input is maintained to protect the vehicle's original fuel system. Furthermore, a visual indicator for the propane-butane mixture level was installed. This device monitors the LPG level and triggers an automatic switch when the minimum threshold is reached, using integrated sensors and actuators.

I INTRODUCCIÓN

El elevado costo del combustible en Ecuador ha llevado a muchos ciudadanos, especialmente a los taxistas, a buscar alternativas más económicas, siendo la conversión a Gas Licuado de Petróleo (GLP) una de las opciones más populares. Se selecciona, dimensiona, selecciona e implementa el sistema de alimentación GLP de quinta generación en un motor de combustión interna con inyección directa de gasolina (GDI), detallando todas las etapas del proceso de conversión.

Se realizan pruebas exhaustivas para garantizar el correcto funcionamiento y la seguridad del sistema,

abordando aspectos hidráulicos, neumáticos, eléctricos y electrónicos. Se reconoce la importancia de los recursos energéticos en la sociedad moderna, ya que, sin energía, la vida tal como la conocemos no sería posible [1].

Se inicia con el diseño de la adaptación de los distintos componentes del sistema GLP en el vehículo prototipo, definiendo los espacios adecuados para su instalación. A partir de esto, se identifican los elementos que conforman el sistema y se analiza su funcionamiento. Luego, se procede con la implementación del sistema, realizando previamente pruebas de resistencia estructural dentro del habitáculo del vehículo.

Se hacen pruebas del estado del motor para asegurar que la conversión no afecte negativamente ni al motor ni al sistema GLP. Estas pruebas incluyen la verificación del rendimiento en todos los regímenes de conmutación entre gasolina y GLP.

Finalmente, se presentarán los resultados obtenidos, evaluando el grado de cumplimiento con las normas NTE INEN 2310, 2311 y 0111, y se realiza el análisis de costo-beneficio para confirmar el éxito del proyecto.

II. MÉTODOS Y MATERIALES

El vehículo es un Mazda CX-7 2.3 Turbo está equipado con un motor de gasolina de 2.3 litros de cuatro cilindros en línea turboalimentado. [3]

Tabla 1. Ficha técnica

Versión	CX-7 2.3 DISI 260 CV Luxury (2009)
Carrocería	SUV
Combustible	Gasolina
Consumo NEDC	Extraurbano 8,1 l/100 km Urbano 13,8 /100 km Medio 10,2 l/100 km
Depósito de combustible	69 litros
Volúmenes del maletero	Con dos filas de asientos disponibles es 455 litros
Potencia máxima	260 CV / 191 kW
Revoluciones potencia máxima	5.500 rpm
Situación	Delantero transversal
Alimentación	Inyección directa. Turbo.

	Intercooler
Tracción	Delantera
Tabla 2 <i>Ficha técnica del motor Mazda 2.3L DISI Turbo o L3-VDT</i>	
Fabricante	Mazda
Sistema de combustible	Inyección directa de combustible
Número de cilindros	4 cilindros en línea
Índice de compresión	9.5:1
Potencia, hp	263 caballos de fuerza (196 kW)/5500 rpm
Torque, lb-pie	280 libras-pie (380 Nm)/3000rpm
Orden de encendido	1-3-4-2
Diseño del tren de válvulas	DOHC

Nota. Tabla de datos técnicos del motor [4]

Gas Licuado de Petróleo.

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es una combinación de gases, propano y butano, que se obtiene a través de la destilación fraccionada del petróleo crudo. A temperatura ambiente y bajo presión atmosférica, estos gases permanecen en estado gaseoso, pero tienen la capacidad de transformarse en estado líquido cuando se someten a presión. [5]

Tabla 3

Características de GLP

Característica	Propano	Butano
Densidad a 15 °C (kg/l)	0,508	0,584
Tensión de vapor a 37,8 °C	12,1	2,6
Temperatura de ebullición (°C)	43	-0,5
R.O.N.	111	103
M.O.N.	97	89
Poder calorífico inferior (MJ/Kg)	46,1	45,46
Poder calorífico inferior (MJ/l)	23,4	26,5
Relación estequiométrica (kg/kg)	15,8	15,6
Poder calorífico MIX.S. (kg/mc)	3414	3446

Nota. En la tabla se observa las características del GLP tanto en Propano y Butano. [6]

Costos y viabilidad económica

Los beneficios de cambiar a un sistema de GLP incluyen el ahorro de dinero, la reducción de la contaminación, la mejora de la seguridad y el mantenimiento del rendimiento del vehículo. [7]

Disponibilidad y accesibilidad

Omegas Direct es un sistema de LANDIRENZO y está disponible en varias versiones diferentes para adaptarse a los vehículos con diferentes capacidades cúbicas, incluidos los motores turbo. [7]

La selección del sistema depende de las normativas INEN 2310 e INEN 2311, a partir de las características de cada uno de los componentes los cuales variarán dependiendo del motor, el espacio para el tanque y los demás componentes, al igual hay que tomar en cuenta el camino que seguirán las tuberías de alta y baja presión del sistema para evitar cualquier problema. [8]

Elementos del kit:

Multiválvula:

Toma de llenado de gas:

Tuberías de gas

Existen de dos tipos:

De alta presión: “Se emplean desde el punto de llenado hasta el depósito, y desde el depósito hasta el evaporador. Están hechas de cobre recubierto de PVC, y soportan una presión de 8 a 10 bares, para el transporte del GLP líquido”. [15]

De baja presión: “Trabajan con presiones entre 0,1 y 2 bares para el transporte de GLP gaseoso, van desde el evaporador hasta el riel de inyectores, están fabricados de plástico flexibles.

Depósito de GLP

Reductor-evaporador: Elemento encargado de transformar de estado líquido a gaseoso al GLP. “Se reduce la presión del gas de 10 a 1 bar, dependiendo de la presión que existe en el colector de admisión del motor [9, 12]

Riel de inyectores de GLP:

El inyector de carril LANDI RENZO GIRSI12 ha sido diseñado y probado para garantizar un alto rendimiento y precisión en la distribución de combustible GLP.

Indicador de nivel de gas y conmutador de selección de combustible: presión de gas (depósito lleno) durante el

siguiente proceso de repostaje y cambia automáticamente a GLP.

Funciones:

- Conmutador selector de gas/gasolina para el cambio manual de combustibles
- Indicador de la cantidad de gas en el depósito con 5 LEDs
- Indicador LED de combustible – 2 LEDs indican qué combustible se está usando actualmente

Figura 1

Indicador de nivel y conmutador



Nota. Pulsador para realizar el cambio de combustible del vehículo. [10, 14]

Unidad de control del funcionamiento con gas: “Gestiona el funcionamiento del motor cuando funciona con GLP o gasolina, gobierna los inyectores de gas y los inyectores de gasolina, en conjunto con la unidad de control electrónica del vehículo”

Funcionamiento del sistema de inyección GDI

La inyección directa es un proceso de suministro de combustible en los motores de combustión interna, que reemplaza la inyección de combustible indirecta. En la inyección directa, la gasolina o el diésel se inyectan directamente en el cilindro del motor, lo que permite una mejor combustión y mayor eficiencia del combustible. Además, este proceso es compatible con motores turboalimentados y produce menos emisiones de gases contaminantes. [11, 15]

Ventajas de la inyección directa

Este sistema proporciona una mayor eficiencia de combustible, mayores valores de entrada de energía y una capacidad de sincronización del motor flexible. Estos hechos significan que los automóviles GDI no sólo son económicos y eficientes, sino que también pueden

adaptarse a una amplia gama de condiciones de conducción.

En el período de admisión sólo ingresa aire al cilindro, inyectando la gasolina después, por lo que la cantidad de aire que entra en el cilindro es mayor pues no se ve reducida por la gasolina que se inyecta en el colector.

Inyección directa GDI

Al tomar en cuenta que la mezcla aire-gasolina se realiza dentro de la cámara de combustión, es importante tener en cuenta que la duración de la admisión solo ingresa aire por las válvulas de admisión, es decir la gasolina es inyectada directamente en la cámara de combustión del motor de combustión interna.

Bomba de alta presión: Existen varios tipos de bombas de alta presión, esto depende mucho de la aplicación final en la que se va a usar.

Figura 2

Bomba de combustible de alta presión



Nota. Código de bomba L3K9-13-35Zc para 2006-2013 Mazda Cx-7 3 6 Mzr 2,3 L turbo. [16]

Sensores que actúan en el funcionamiento del sistema GDI

Los principales sensores que actúan en el sistema de inyección directa son [17]:

- El control electrónico del acelerador (ETC)
- De oxígeno (O2)
- Presión absoluta del múltiple (MAP)
- Posición del árbol de levas (CMP)
- Posición del cigüeñal (CKP)
- Detonación (Ks)
- Presión del riel (RPS)
- Posición del acelerador (APS)

- Presión del tanque de combustible (FTPS)
- Temperatura del refrigerante (ECT)

La unidad de control electrónica ECU

Este es un dispositivo electrónico que es el encargado de mantener el buen funcionamiento del motor en los diferentes modos de operación, este componente lo contiene todos los vehículos con gestión electrónica debido a que es un computador que gestiona y comanda varios aspectos de los subsistemas de admisión, combustible, combustión y escape. [18].

Inyector de sistema de inyección directa GDI

Inyectores de alta presión del sistema

Los inyectores de Inyección Directa de Gasolina GDI (Gasoline Direct Injection) trabajan hasta 2900 libras de presión y van instalados directamente en la cámara de combustión, esto representa ahorros de hasta 15% en consumo de gasolina e incrementar el par de torsión del motor hasta un 40%, los vehículos que son equipados con estos sistemas son de reciente integración al mercado.[20]

Figura 3



Nota. Inyector GDI.

Esfuerzos

“Conjunto de fuerzas a las que se encuentra sometido un cuerpo a causa de las acciones que actúan sobre él” [21]

Esfuerzo axial

“Es el esfuerzo que experimenta cargas axiales de tensión o de compresión que soporta una estructura” [22]

$$\sigma_x = \frac{F_t}{A_t} \quad (1) \text{ Esfuerzo axial}$$

Donde:

- $\sigma_x = \text{Esfuerzo axial}$
- $F_t = \text{Fuerza aplicada}$

- $A_t = \text{Área sometida a tracción o compresión}$

Esfuerzo cortante

“Esfuerzo que experimenta cargas perpendiculares en relación al eje principal de la estructura”

$$r = \frac{F}{2\pi r e} \quad (2)$$

Ecuación 2 Esfuerzo cortante

- $r = \text{Esfuerzo cortante}$
- $F = \text{Fuerza aplicada}$
- $r = \text{radio}$
- $e = \text{espesor}$

Tabla 4

Precios de venta para comercializadoras autorizadas a marzo 2024.

Sector Automotriz		\$
Gasolina extra automotriz	Galones	2,22045
Gasolina extra con etanol automotriz	Galones	2,22045
Diésel 2 / Diesel premium (automotriz)	Galones	1,60615
Gasolina super premium 95 automotriz	Galones	3,12284
Diésel premium transp. De carga pesada placa internacional	Galones	1,60615
Gas licuado de petróleo (G.L.P.) taxis	Kilogramos	0,18838
Gas licuado de petróleo (G.L.P.) de uso doméstico	Tanque de 30 kg	1,60
Sector Industrial		
Gas licuado de petróleo (GLP) industrial	Kilogramos	0,85496

Nota. Precios de venta en terminal para las comercializadoras calificadas y autorizadas a nivel nacional. [23]

Distancias de recorrido en Ecuador

A partir de las tablas que presenta la Red Vial Nacional se presenta tablas con las distancias entre las ciudades principales del Ecuador. Además, se explica un poco sobre las carreteras del país, que es también

llamada "Red Vial nacional", que es el medio por el cual se llega a los distintos lugares del Ecuador, tomaremos el dato desde la ciudad de Latacunga hasta la de Riobamba la cual muestra 99 kilómetros.[24]

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

Diseño e Implementación del sistema de quinta generación GLP en un motor GDI

A continuación, se muestran las pruebas, diseños y diagramas de procesos realizados para adaptar el kit de quinta generación de GLP, para lo cual se realizó pruebas mecánicas del motor como son compresión, vacío y fugas de presión en los cilindros, diseños y esquemas por medio de programas CAD, CAE, y los procesos realizados en la implementación.

Pruebas mecánicas en el vehículo

Se desarrolla en 3 pruebas en relación al desempeño mecánico del motor, las cuales son compresión, vacío y fugas.

Prueba de compresión

El valor de compresión determina el estado mecánico o una posible falla en los componentes internos del motor.

Tabla 5

Valores de compresión

Cilindro	Antes de la instalación	Después de la instalación
	Valor de compresión (psi)	Valor de compresión (psi)
1	140	140
2	130	130
3	135	135
4	140	140

Nota. Los valores obtenidos muestran el estado mecánico del motor antes y después de la instalación del kit.

Prueba de vacío

Se determinó las posibles fallas de hermeticidad las cuales pueden influir en el comportamiento del motor provocando fallas en la utilización de GLP o gasolina como carburante.

Prueba de fugas

Es una prueba que determinó el porcentaje de fugas presentes en el motor cuando se aplica presión en

el espacio del cilindro utilizando aire comprimido, que va a influir en el desempeño mecánico.

Parámetros de diseño

Se realizó diferentes esquemas con ayuda de software de diseño CAD, CAE y de simulación dinámica de fluidos, para determinar la disposición de los diferentes componentes del kit de GLP con el fin de cumplir aspectos de seguridad y accesibilidad.

Disposición del compartimiento posterior del vehículo

Medidas del depósito

En el software CAE se realiza la simulación del espacio, en donde se va a ubicar el depósito de GLP de manera segura, de acuerdo a las normas.

“Las estructuras de las carrocerías deberá resistir una carga estática equivalente al 50% del peso máximo admisible para el chasis, sin experimentar deformaciones en ningún punto que superen los 70 mm” (INEN:1323, 2009).

Sistema de fijación del depósito

El diseño del sistema de fijación se realizó para determinar cuál es el perno adecuado a implementarse para tener una deformación programada del mismo en caso de un accidente.

Se tomó en cuenta que el kit de implementación de GLP ya tiene previsto un sistema de fijación para dos pernos de diámetro 12 mm y la longitud disponible para que atraviese el perno es de 110 mm. El peso total del depósito es de 30kg, dando una fuerza aplicada para un solo perno de 294,3 N, sin embargo, al contar con dos orificios para la fijación, cada perno tendrá una carga aplicada de 147,15 N.

Se estima que el perno es de paso fino de 1,25, “por medio de las tablas se muestra que el A_t (área de fuerza de tracción) es de $92,1 \text{ mm}^2$ ” (Norton, 2011). Con estos datos se determinó:

$$A_t = 92,12 \text{ mm}^2 * \frac{(1 \text{ m})^2}{(1000 \text{ mm})^2}$$

$$A_t = 9,212 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\sigma_x = \frac{147,15 \text{ N}}{9,212 * 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_x = 1,60 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante teniendo en cuenta que el espesor del soporte del tanque es de 2mm es igual a:

$$r = \frac{F}{2\pi r * e}$$

$$r = \frac{147,15 \text{ N}}{\pi(0,012\text{m}) * 0,002\text{m}}$$

$$r = 1951637,49 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$r = 1,95 \text{ MPa}$$

En función de la fuerza cortante y de tracción, se seleccionó la clase de perno a implementar en función de la resistencia a la fluencia y tensión mínimas que se encuentran en tablas.

Se escogió un perno de clase 4,6 que va a cumplir con las características adecuadas para el diseño y va a asegurar la seguridad en la fijación del depósito, el material es de acero, a bajo o medio carbono, ya que posee resistencia a la fluencia mínima de 240 Mpa, y una resistencia a la tensión mínima de 400 Mpa.

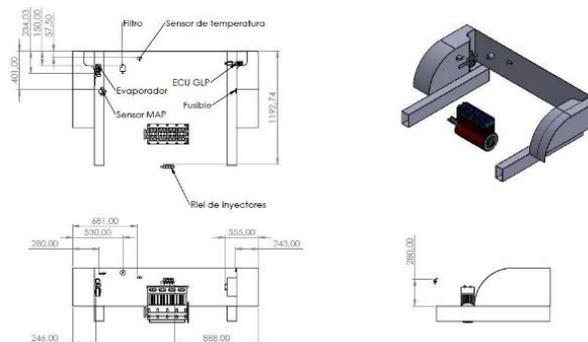
Disposición del conmutador en el tablero de instrumentos

El conmutador se dispuso de tal forma que sea accesible para el conductor, sea visible y no interfiera en la conducción teniendo en cuenta la disposición de diferentes componentes en el habitáculo y la forma geométrica.

Disposición de los componentes de GLP en el compartimiento del motor.

Figura 4

Disposición de componentes de GLP

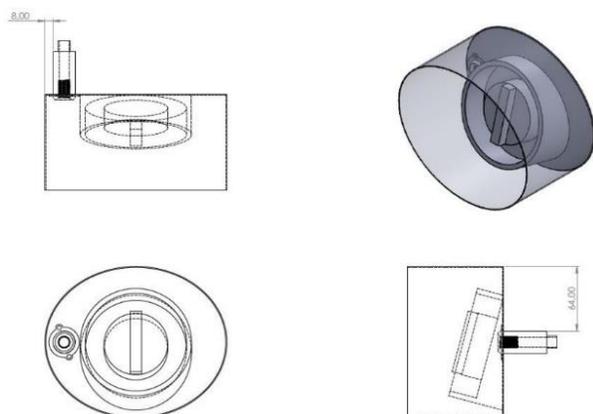


Nota. En la figura se observa la esquematización de los diversos componentes del kit en relación al compartimiento delantero del vehículo, estos espacios se encuentran libres y son de utilidad para la adaptación.

Disposición de la toma de llenado de GLP.

Figura 5

Disposición de la toma de llenado



Nota. en la imagen se aprecia la toma de llenado y su ubicación dentro del compartimiento de carga de gasolina.

Diseño del soporte del reductor-vaporizador

El material de la carrocería es ASTM A36, el espacio disponible es de 800 mm, el material a implementarse es “aluminio que posee un módulo de elasticidad de 71 MPa” [25], el diámetro para el acople al reductor es de 14 mm y su peso de 1 kg y la distancia desde la fijación de la carrocería hasta el conmutador es de 78,75 mm, el espesor de la placa se supondrá que es de 3 mm y tiene una sección cuadrada de 34 mm de altura.

La fuerza cortante máxima que va a soportar es de 9,81 N y por lo tanto el esfuerzo cortante máximo a sufrir es:

$$r = \frac{F_t}{A_t}$$

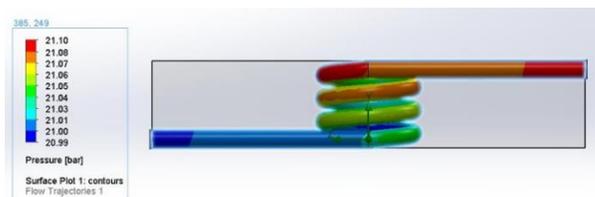
$$r = \frac{9.81 \text{ N}}{(0.034 * 0.003) \text{ m}^2}$$

$$r = 96176,47 \text{ Pa} = 0,096 \text{ MPa}$$

La fuerza cortante máxima es igual a 0,096 MPa siendo el aluminio un excelente material para poder cumplir con la función de soporte seguro para el reductor.

Achurado de la tubería de alta presión

Figura 6. Análisis de presión en el achurado

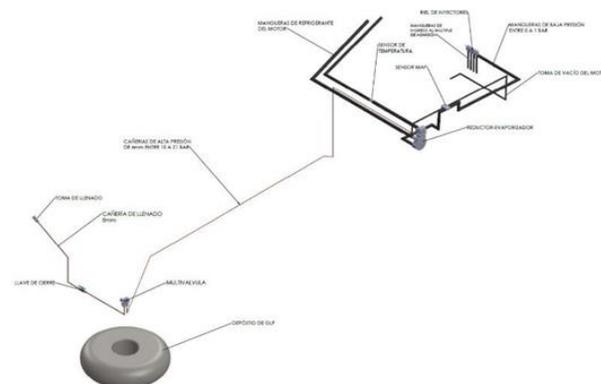


Nota. La presión de entrada es mayor igual a 21,1° bar que a la de salida de 20,99 bar, ayuda a reducir la presión de ingreso hacia el reductor-vaporizador.

Esquema hidráulico y neumático del GLP

Figura 7

Esquema hidráulico y neumático

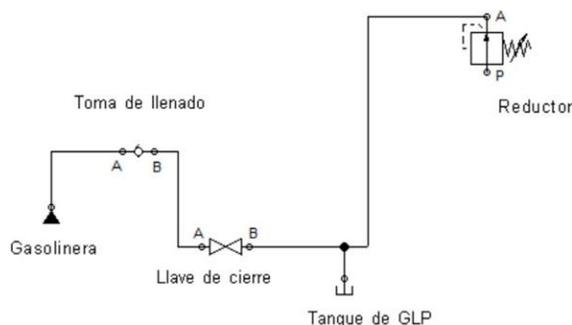


Nota. Diseño de tuberías y mangueras para el sistema hidráulico.

Se realizó una esquematización del sistema hidráulico y neumático con ayuda del software de simulación de dinámica de fluidos.

Figura 8

Esquema hidráulico

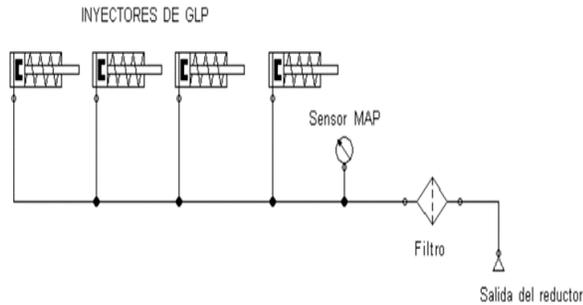


Nota. Los componentes que conforman la alta presión del kit de GLP es la toma de llenado, llave de cierre, tanque de GLP

y el reductor que corresponden al aparatado hidráulico del sistema.

Figura 9

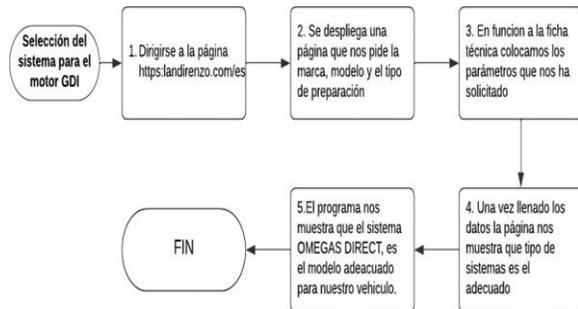
Esquema neumático



Nota. El apartado neumático del sistema que conforman la baja presión del kit de GLP consta del filtro, sensor MAP y los inyectores de GLP.

Figura 10

Protocolo de selección a partir del uso de la aplicación LANDIRENZO.



Nota. Esquema de selección del kit de quinta generación de GLP.

Selección del riel de inyectores de gas:

Para la elección del riel de inyectores de gas, se tuvo en cuenta la tabla siguiente:

El motor es de 4 cilindros y tiene una potencia de 191 kW, por lo cual se seleccionó el riel de inyectores de tamaño L, que soporta 4 cilindros y una potencia superior de 114 kW.

En relación al depósito debido a comodidad, seguridad y optimización de espacio se optó por un cilindro de GLP toroidal, la unidad de control, conmutador, multiválvulas, vaporizador, tubos de alta y baja presión son suministrados en el kit y son los mismos para cualquier vehículo con el sistema de inyección directa, lo único que variará será la programación.

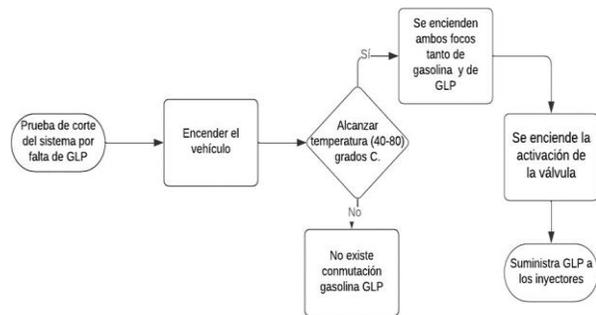
Instalación del sistema

Se procedió con la instalación y ubicación de los diferentes elementos que conforman al sistema GLP de quinta generación ubicadas en el motor GDI en el vehículo prototipo.

Activación de la electroválvula del evaporador

Figura 11

Protocolo de prueba de corte del sistema por falta de GLP.



Nota. La temperatura es la primera condición de funcionamiento que exige el uso de GLP

La conexión del osciloscopio al positivo y control de masa que sirvió como base para determinar el número de revoluciones las que el vehículo realiza el cambio de combustible siendo en el intervalo de 1500-2000 rpm.

Prueba de inyección de GLP

Se comprobó el correcto funcionamiento en la inyección de GLP por medio del osciloscopio, y multímetro.

Figura 12

Protocolo de prueba de inyección de GLP



Nota. En la imagen se muestra como está establecido el protocolo de prueba de inyección de GLP, es importante recordar sus condiciones de funcionamiento.

Análisis económico de la inversión

Para realizar los cálculos se va a tomar en cuenta el recorrido diario, semanal y anual que tiene un vehículo entre la ciudad de Latacunga y la ciudad de Riobamba al ser de uso personal recorrerá diariamente 100 km aproximadamente (Ministerio de Transporte y obras públicas), si este auto realiza este recorrido 5 días a la semana se tendrá en un año lo siguiente.

El valor total contemplado por un coste aproximado de consumo de gasolina en litros la cual será 0.25 litros por cada 100 km. Además de Estados Unidos, los países de Puerto Rico, Panamá, Perú, Colombia, Ecuador y Venezuela usan la definición de galón que equivale a: 3.785411784 litros (redondeado a 3.7854 litros).

Tabla 6

Precio total de consumo de combustible

Recorrido diario (Latacunga-Riobamba)	Recorrido semanal	Recorrido anual
100 km	500 km	26000 km
6.89 kg	34.45 kg	1791.25 kg
1.30\$	6.48\$	336.755 \$
Valores de consumo de 0,75 l por cada 100 km		
100 km	500km	26000 km
0.25 litros	1.25 litros	65 litros
0.147gal	0.735 gal	38.22gal
0.32 \$	1.63 \$	84.84 \$
Total		
1.30 \$	6.48 \$	336.755 \$
0.32 \$	1.63 \$	84.84 \$
1.62 \$	8.11\$	421.60 \$

Nota. en la tabla se muestran los valores aproximados a partir de un ejemplo particular de recorrido entre Latacunga y Riobamba, en donde aproximadamente por cada 100km el valor total diario de consumo en dólares será de 1.62\$

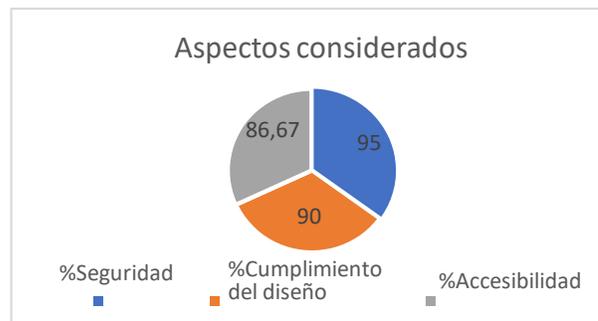
Pruebas de funcionalidad

Se realizaron las pruebas propuestas de funcionamiento dando el resultado esperado, mostrando que el sistema funciona, con el accionamiento del conmutador se realiza el cambio de gasolina a GLP correctamente, no existen sonidos extraños, y todos los elementos cumplen la función para los

que han sido instalados, dando un resultado del 100% cumpliendo con el correcto cumplimiento de la instalación a partir de las normas.

Figura 13

Promedio de porcentajes alcanzados



Nota. En la imagen los valores porcentuales de los tres aspectos tomados en cuenta, son favorables, 95% de seguridad, 86,67% de accesibilidad y el 90% del cumplimiento del diseño.

Análisis económico de la inversión

Se determinó que el consumo de combustible de gasolina al entrar en conmutación con el de GLP disminuyó considerablemente, es importante recordar que la inyección de gasolina va a seguir funcionando aun en funcionamiento de gas, claro está que, en mucha menor medida de consumo de gasolina, ahora bien, el consumo de GLP comparado con el consumo de gasolina es insignificante en tema económico.

Tabla 7

Tabla de consumos y precios anual.

Consumo de gasolina	Consumo de GLP
1523.80\$	421.60\$

Nota. Se muestra en la tabla el consumo y el precio anual.

Existe un gran ahorro en cuanto a valor de consumo el cual da un ahorro de 1102,2 dólares aproximadamente en cada año. En dos años y 6 meses aproximadamente se va recuperar el valor de la instalación, claro está que aquí se debe tomar en cuenta valores de mantenimiento que se realizan cada 10000km, en definitiva, se tiene que el costo beneficio de la instalación de un sistema de GLP de quinta generación en un vehículo con sistema GDI es recomendable, por su ventaja en valores de consumo.

IV. CONCLUSIONES

Se dimensionó el sistema hidráulico, neumático, eléctrico y electrónico del sistema de alimentación alternativo GLP/gasolina y solo de GLP a través de la ingeniería asistida por computador a través de la selección de los componentes en observancia de los requisitos mínimos que deben cumplir los equipos de quinta generación y las conversiones a realizar en el motor de combustión interna GDI, acorde a lo establecido por la NTE INEN 2310.

Se implementó el sistema de alimentación alternativo GLP de quinta generación para motores de combustión interna GDI en concordancia con las normas establecidas por parte de la NTE INEN 2311.

A través del manejo sustentado de información y análisis de ingeniería asistida por computador para el diseño, construcción y pruebas del Prototipo de sistema de alimentación de combustible GLP de quinta generación en motores GDI y la obtención de los resultados propuestos en esta investigación, se implementó un sistema flexible a un carburante gaseoso que cumple con la normativa técnica ecuatoriana NTE INEN garantizando la fiabilidad y seguridad del sistema en un 95%.

En cuanto al ahorro de combustible, y el costo beneficio de esta instalación nos muestra un resultado muy alentador en donde el ahorro es de 1102,2 dólares aproximadamente en cada año.

REFERENCIAS

[1] VALDEIGLESIS, F. d. (2007). Estudio de factibilidad económica para la. Estudio de factibilidad económica para la. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

[2] Caceres; Mollon. (2007). Evaluación de la Factibilidad del uso de gas natural vehicular como una alternativa energética para disminuir. Venezuela.

[3] Mazda Motor Corporation. (2007). Mazda Cx-7 Workshop Manual. HIROSHIMA.

[4] Francisco, S. H. (2011). DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROPULSIÓN PARA EMBARCACIONES FLUVIALES DE 650 KG EN GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP). PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, Lima.

[5] Cristian, G., & Santiago, T. (2005). “ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMBUSTIBLE CON LA UTILIZACIÓN DE GLP A UN MOTOR DE GASOLINA TOYOTA 5R [Tesis de Grado, Universidad de las Fuerzas

Armadas ESPE]. Repositorio Institucional, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador

[6] LANDIRENZO. (s.f.). Sistema de GLP para motores de inyección directa. Cavriago, Italia.

[7] Barzallo, E. M. (2012). Límites de inflamabilidad en el a) Inferior. Cuenca.

[8] INEN:2310. (2013). Funcionamiento de vehículos con GLP. Equipos para carburación dual GLP/gasolina o solo de GLP en motores de combustión interna.

[9] INEN:2311, N. (2013). NTE INEN 2311: Vehículos automotores. Funcionamiento de vehículos con GLP. Conversión de motores de combustión interna con sistema de carburación de gasolina por carburación dual GLP/gasolina o solo de GLP.

[10] INEN:0111. (2013). Cilindros de acero soldados para gas licuado de petróleo GLP.

[11] Calleja, D. G. (2015). Motores térmicos y sus sistemas auxiliares (2da ed.). Madrid: Ediciones Parafino.

[12] Herranz David. (26 de enero de 2017). blogmecánicos.com.

[13] Solomon, O. (2021). Explained: Direct Injection Piston Design and Tuning Theories. MOTORTREND.

[14] Patiño, C., & Campoverde, P. (2023). Desarrollo de un módulo virtual para el aprendizaje del funcionamiento y mantenimiento de un Motor de Inyección Directa a Gasolina Hyundai G4FD [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca]. Cuenca.

[15] Tacuri, H. P. (2013). ANÁLISIS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA EN MOTORES DE VOLKSWAGEN [Tesis de grado, Universidad del Azuay, Cuenca]. Cuenca: Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería Mecánica.

[16] Fernidand, S., & Pytel, A. (1994). Resistencia de materiales. México: Alfaomega.

[17] Norton, R. L. (2011). Diseño de Máquinas. México: Pearson Educación.

[18] Feijóo Vivas, Galo Alexander. Guayanlema Gutierrez, Alejandro Ariel. (2024). Diseño e implementación del sistema de alimentación alternativo GLP de quinta generación para motores de combustión interna GDI. Carrera de Ingeniería Automotriz. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sede Latacunga