



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de unidad de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

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

Autores:

Feijóo Vivas, Galo Alexander

Guayanlema Gutierrez, Alejandro Ariel

Tutor:

Msc. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio

Latacunga, Marzo 2024



“No estamos interesados en seguir tendencias. Estamos aquí para establecerlas”



VON KOENNEGSIG



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Contenido

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

- Resumen
- Antecedentes
- Planteamiento del problema
- Justificación e Importancia
- **Objetivos de proyecto**
 - Objetivo General
 - Objetivos Específicos
- **Marco Teórico**
 - Datos técnicos del vehículo prototipo
 - Normativas
 - Costos de combustibles en el país

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

- Pruebas mecánicas
- Parámetros de diseño
- Disposición de elementos del sistema
- Selección del sistema GLP
- Instalación del sistema
- Pruebas de funcionalidad

Análisis de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES



Resumen

1

- La investigación desarrolló el diseño de los componentes del sistema GLP a través de la ingeniería asistida por computador mediante el modelado y simulación e implementó un kit de quinta generación de Gas Licuado de petróleo a un motor con inyección directa gasolina (GDI);

2

- Los equipos de quinta generación y las conversiones de vehículos a GLP deben cumplir con la normativa técnica nacional NTE INEN 2310, 2311 y 0111 en cuanto a instalación, seguridad y fiabilidad económica sostenible.

3

- Se examinó las condiciones previas de funcionamiento que rigen en la conversión al sistema flexible alternativo como: temperatura de operación y régimen de giro como medio de conmutación de gasolina a GLP esta última con operación en rango mínimo de nafta como requerimiento de potencia y protección del sistema de combustible original del automotor.

4

- Se ejecutó pruebas de funcionalidad y operación del sistema hidráulico, neumático, eléctrico y electrónico de alimentación alternativo GLP/gasolina y solo de GLP, mediante protocolos a través de ensayos que garanticen la seguridad técnica – operativa



Antecedentes



El precio de combustible en el Ecuador, ha llevado a varias personas, específicamente a taxistas a dar uso de combustibles alternativos para tener mayor ahorro en su economía, siendo el principal y más implementado la conversión a un sistema dual de GLP.



El GLP constituye una alternativa como combustible en el parque automotor, por su menor costo y alto rendimiento, sobre todo en el transporte masivo o público



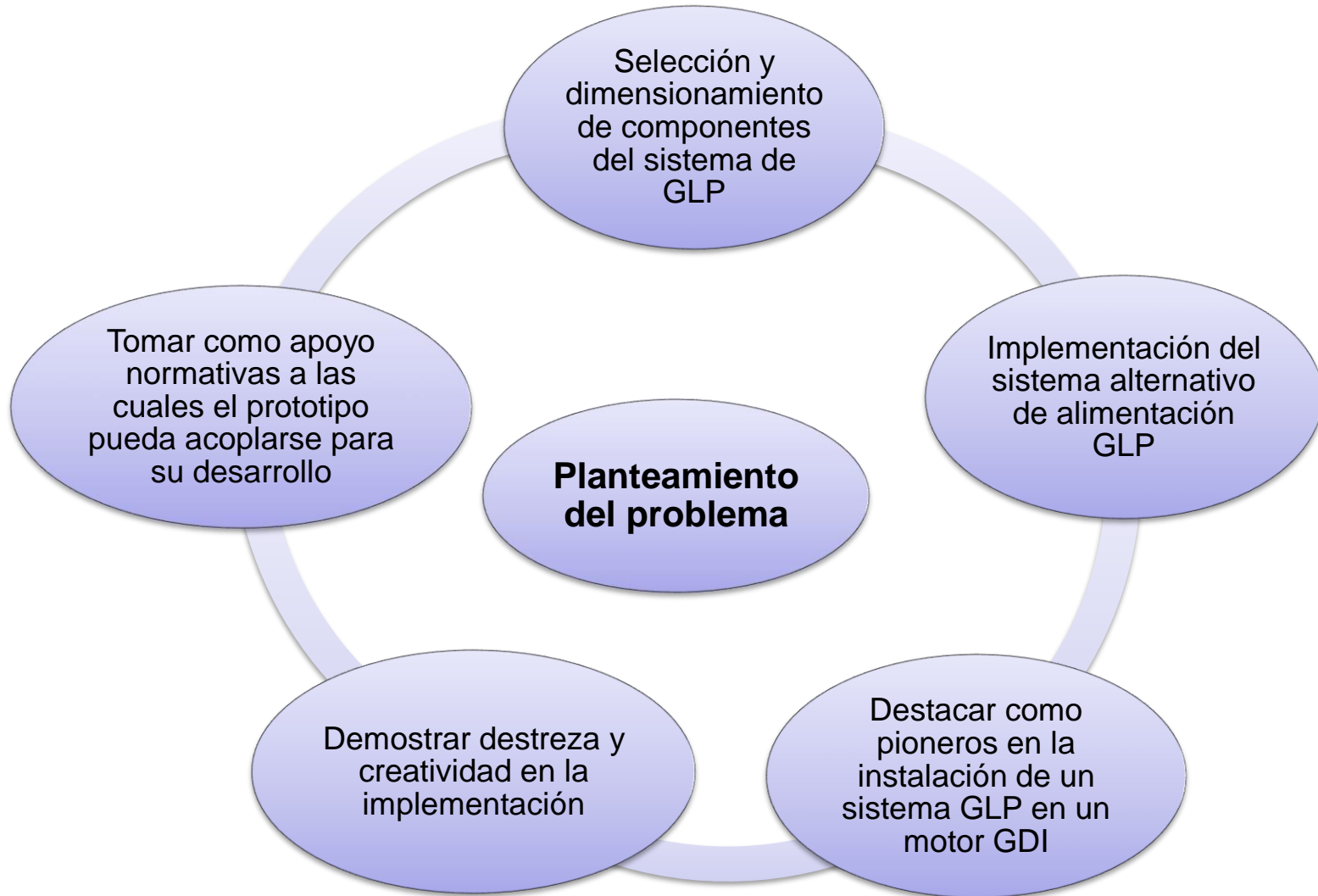
En la actualidad existen sistemas de quinta generación con control electrónico programable de inyección de GLP para motores de combustión interna GDI, diseñados para transformar a gas los automóviles alimentados por inyección directa de gasolina de 2 a 4 cilindros.



Desde 2008 las compañías de taxis están autorizados a cambiar su sistema de combustible por gas licuado de petróleo, lo que significa gastar hasta tres veces menos en comparación que con gasolina. El consumo de GLP en el sector automotor se triplicó entre enero y marzo de 2022 respecto al año anterior



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



Justificación e importancia

En la actualidad, el GLP (gas licuado del petróleo), se ha convertido en el combustible sostenible para vehículos más utilizado en todo el mundo. Por ello, las ventajas del carburante para el sector público y privado son numerosas.

Las ventajas del uso del gas licuado de petróleo en vehículos con tecnología de gestión electrónica y sistema de alimentación con inyección directa suponen grandes ventajas, tanto para el medioambiente como por el ahorro de combustible, mayor autonomía y ahorro económico que se logra.

Los periodos de mantenimiento se incrementan debido a la optimización de los procesos de combustión de los motores GDI que utilizan GLP, presentan un menor desgaste en comparación a motores que únicamente consumen gasolina, esto se traduce en una disminución del gasto de mantenimiento y en una mayor fiabilidad y amortización del vehículo



Objetivos del proyecto

Objetivo General

- Dimensionar, seleccionar e implementar un sistema de alimentación alternativo GLP de quinta generación para motores de combustión interna GDI.

Objetivos Específicos

- Dimensionamiento del sistema hidráulico, neumático, eléctrico y electrónico de alimentación alternativo GLP/gasolina y solo de GLP a través de la ingeniería asistida por computador y recuperación económica de la inversión.
- Seleccionar el sistema de alimentación alternativo GLP, en cumplimiento 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.
- Implementar en el motor GDI el sistema de alimentación alternativo GLP en concordancia con las normas establecidas por parte de la NTE INEN.
- Grabar y almacenar el procedimiento de instalación del sistema de alimentación alternativo GLP en el motor GDI.



Ficha Técnica del Vehículo

Versión	CX-7 2.3 DISI 260 CV Luxury (2009)
Combustible	Gasolina
Consumo NEDC	Extraurbano 8,1 l/100 km Urbano 13,8 l/100 km Medio 10,2 l/100 km
Potencia máxima	260 CV / 191 kW
Revoluciones potencia máxima	5.500 rpm
Situación	Delantero transversal
Alimentación	Inyección directa. Turbo. Intercooler



NORMATIVAS

NTE INEN 2310

“Esta normativa tiene como objetivo establecer los requisitos mínimos que deben cumplir los equipos para carburación a GLP en la conversión de motores con carburación de gasolina a carburación dual GLP/gasolina o solo de GLP”
(INEN:2310, 2013)

NTE INEN 2311

“Esta normativa tiene por objetivo establecer los requisitos mínimos que se debe cumplir al realizar las conversiones de motores de combustión interna con carburación de gasolina por carburación dual GLP/gasolina o solo de GLP” (INEN:2311, 2013).

NTE INEN 0111

Establece los requisitos mínimos que deben cumplir los cilindros de acero soldados para gas licuado de petróleo.



SECTOR AUTOMOTRIZ

Sector Automotriz		
Gasolina extra automotriz	Galones	\$ 2,220450
Gasolina extra con etanol automotriz	Galones	\$ 2,220450
Diésel 2 / Diesel premium (automotriz)	Galones	\$ 1,606151
Gasolina super premium 95 automotriz	Galones	\$ 3,122847
Diésel premium transp. De carga pesada placa internacional	Galones	\$ 1,606151
Gas licuado de petróleo (G.L.P.) taxis	Kilogramos	\$ 0,188384
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	\$ 0,854967



Prueba de presión 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



PRUEBAS

Prueba de vacío

Prueba	Antes de la instalación		Después de la instalación	
	presión (in Hg)	Resultado	presión (in Hg)	Resultado
Vacío a Ralentí	10 – 11	normal	10 – 11	normal
Vacío aceleración brusca	18	normal	18	normal
Aceleración progresiva	11-13	Condición normal	11-13	normal



PRUEBAS

Prueba de fugas

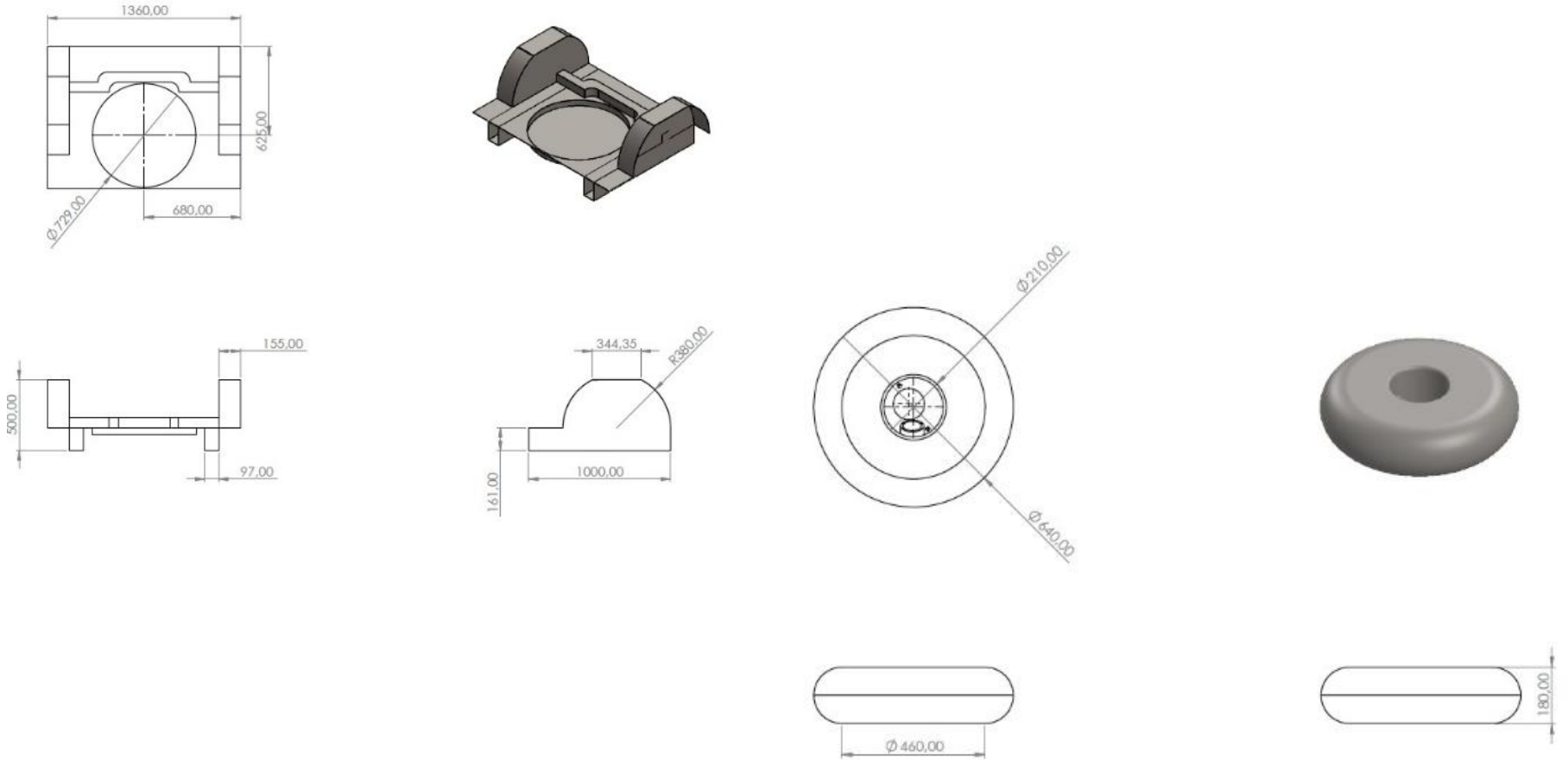
Cilindro	Antes de la instalación		Después de la instalación	
	Valor de ingreso de aire (psi)	Resultado	Valor de ingreso de aire (psi)	Resultado
1	100	0 % Condición normal	100	0 % Condición normal

Cilindro	Antes de la instalación		Después de la instalación	
	Valor de ingreso de aire (psi)	Resultado	Valor de ingreso de aire (psi)	Resultado
2	100	0 % Condición normal	100	0 % Condición normal
3	100	0 % Condición normal	100	0 % Condición normal
4	100 psi	0 % Condición normal	100 psi	0 % Condición normal



Diseño

Disposición del compartimiento posterior del vehículo



Diseño

Depósito de GLP

El depósito implementado esta dentro del rango número 2, debido a su diámetro de 640 mm, dando una capacidad promedio de 62,5 litros.

No.	Diámetro (mm)	Capacidad (L)
1	520-600	38-56
2	630-650	59-66
3	680-720	69-79



Diseño

Depósito de GLP

Característica	Propano	Butano
Densidad a 15 °C (kg/L)	0,508	0,584
Densidad GLP (kg/L)	0,546	



Diseño

Depósito de GLP

$$\rho = \frac{m(\text{GLP})}{V(\text{GLP})}$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 0,546 \frac{\text{kg}}{\text{l}} * 62,5 \text{ l}$$

$$m = 34,125 \text{ kg}$$

Siendo la masa de GLP en el depósito.

La masa total del GLP y el depósito es igual a:

$$m_T = 25 \text{ kg} + 34,125 \text{ kg}$$

$$m_T = 59,125 \text{ kg}$$

Por lo cual el peso total que se usó en el análisis estático fue de:

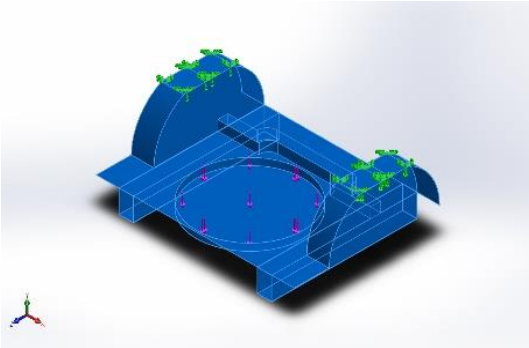
$$W = 59,125 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 580,016 \text{ N}$$



Diseño

Análisis estático del compartimiento posterior del vehículo



Acero ASTM A36

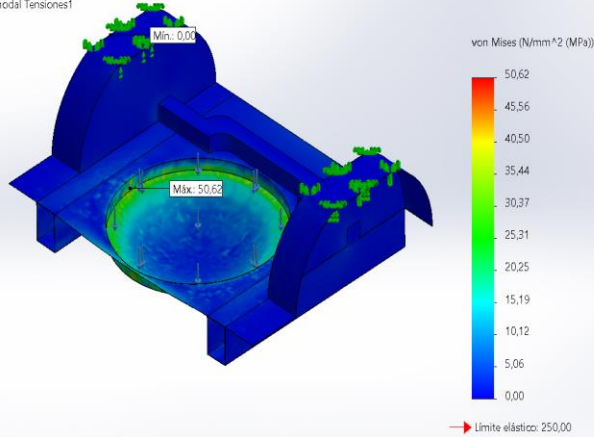


Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2e+11	N/m ²
Límite de tracción	400	N/mm ²
Límite elástico	250	N/mm ²

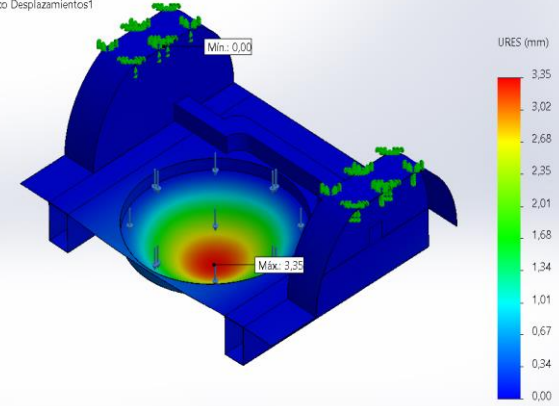


Análisis estático del compartimiento posterior del vehículo

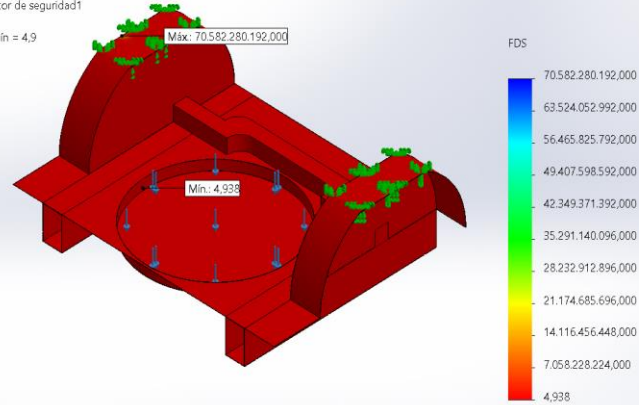
Nombre del modelo: simulación de deformación del chasis
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 40,5646



Nombre del modelo: simulación de deformación del chasis
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 40,5646



Nombre del modelo: simulación de deformación del chasis
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 4,9

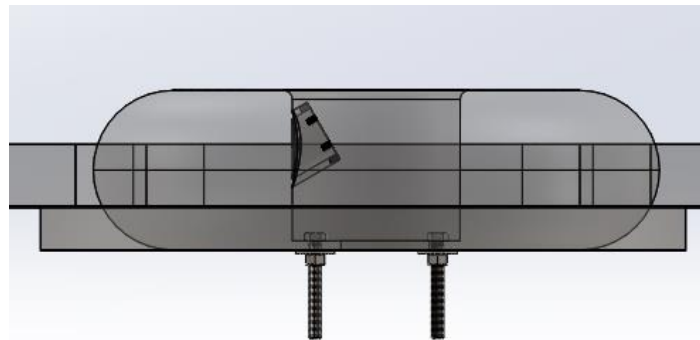


Diseño

Sistema de fijación del depósito

“Dichos soportes deben estar capacitados para resistir como mínimo cuatro veces el peso del tanque completamente lleno de combustible” (INEN:2311, 2013) .

Característica	Valor	Unidades
Masa del depósito lleno	59,125	Kg
Peso del depósito lleno	580,016	N
Número de pernos	2	-
Carga aplicada para cada perno	290,008	N
Carga de diseño para cada perno	1160,032	N



Sistema de fijación del depósito

Tabla 11-2 Dimensiones principales de cuerdas de tornillos del estándar métrico ISO
 Datos calculados con las ecuaciones 11.1; véase la referencia 4 para mayor información

Diámetro mayor d (mm)	Cuerdas gruesas			Cuerdas finas		
	Paso p mm	Diámetro menor d_f (mm)	Área de esfuerzo por tensión A_t (mm ²)	Paso p mm	Diámetro menor d_f (mm)	Área de esfuerzo por tensión A_t (mm ²)
3.0	0.50	2.39	5.03			
3.5	0.60	2.76	6.78			
4.0	0.70	3.14	8.78			
5.0	0.80	4.02	14.18			
6.0	1.00	4.77	20.12			
7.0	1.00	5.77	28.86			
8.0	1.25	6.47	36.61	1.00	6.77	39.17
10.0	1.50	8.16	57.99	1.25	8.47	61.20
12.0	1.75	9.85	84.27	1.25	10.47	92.07
14.0	2.00	11.55	115.44	1.50	12.16	124.55
16.0	2.00	13.55	156.67	1.50	14.16	167.25
18.0	2.50	14.93	192.47	1.50	16.16	216.23
20.0	2.50	16.93	244.79	1.50	18.16	271.50
22.0	2.50	18.93	303.40	1.50	20.16	333.06
24.0	3.00	20.32	352.50	2.00	21.55	384.42
27.0	3.00	23.32	459.41	2.00	24.55	495.74
30.0	3.50	25.71	560.59	2.00	27.55	621.20
33.0	3.50	28.71	693.55	2.00	30.55	760.80
36.0	4.00	31.09	816.72	3.00	32.32	864.94
39.0	4.00	34.09	975.75	3.00	35.32	1028.39

$$A_t = 84,27 \text{ mm}^2 * \frac{(1 \text{ m})^2}{(1\ 000 \text{ mm})^2}$$

$$A_t = 8,427 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\sigma_x = \frac{1160,032 \text{ N}}{8,427 * 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_x = 13765658 \text{ Pa}$$

$$\sigma_x = 13,76 \text{ MPa}$$



Diseño

Sistema de fijación del depósito

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

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

$$\tau = \frac{1160,032 \text{ N}}{\pi(0,012\text{m}) * 0,002\text{m}}$$

$$\tau = 15385402,25 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\tau = 15,38 \text{ MPa}$$



Diseño

Sistema de fijación del depósito

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.

Tabla 11-7 Especificaciones métricas y resistencias para pernos de acero

Número de clase	Intervalo del tamaño del diám. ext. (mm)	Resistencia de prueba mínima (MPa)	Resistencia a la fluencia mínima (MPa)	Resistencia a la tensión mínima (MPa)	Material
4.6	M5-M36	225	240	400	bajo o medio carbono
4.8	M1.6-M16	310	340	420	bajo o medio carbono
5.8	M5-M24	380	420	520	bajo o medio carbono
8.8	M3-M36	600	660	830	medio carbono, Q&T
9.8	M1.6-M16	650	720	900	medio carbono, Q&T
10.9	M5-M36	830	940	1 040	martensita al bajo carbono, Q&T
12.9	M1.6-M36	970	1 100	1 220	aleación, templada y revenida

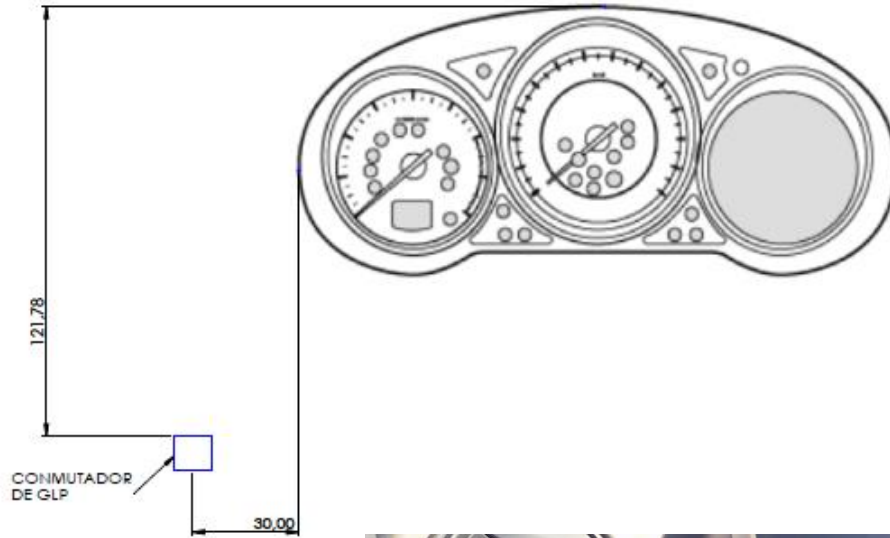
$$\sigma_x = 13,76 \text{ MPa}$$

$$\tau = 15,38 \text{ MPa}$$



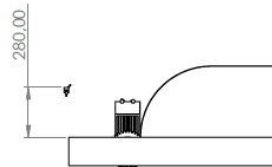
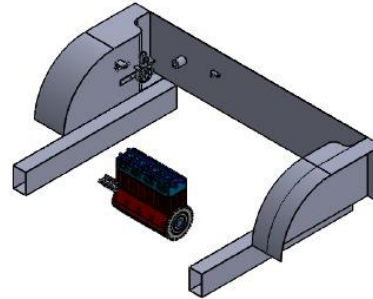
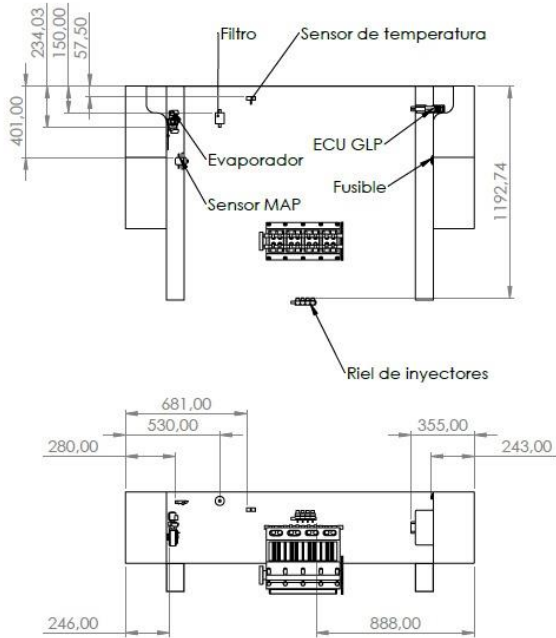
Diseño

Disposición del conmutador en el tablero de instrumentos



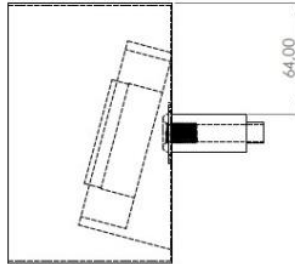
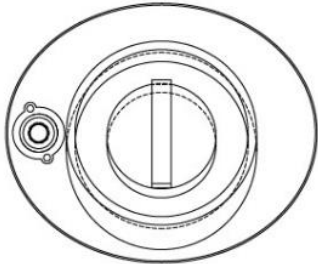
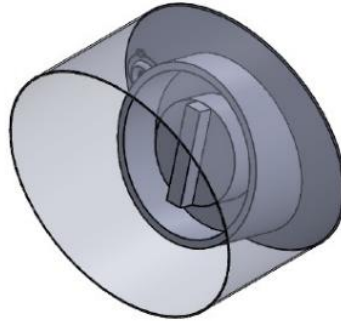
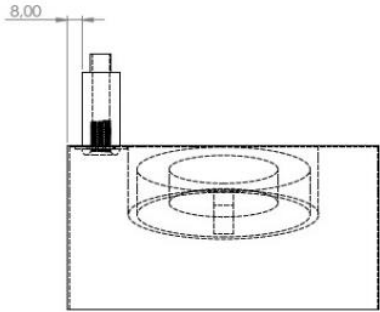
Diseño

Disposición de los componentes de GLP en el compartimiento del motor



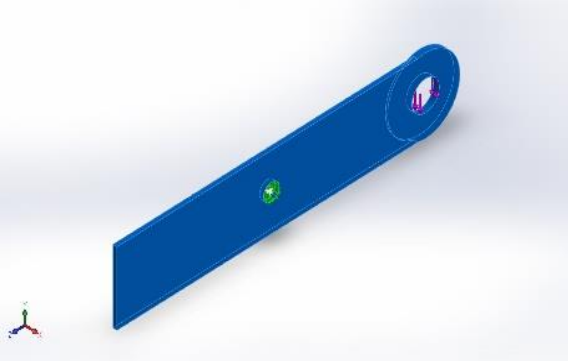
Diseño

Disposición de la toma de llenado de GLP



Diseño

Soporte reductor-vaporizador



Aleación 1060 Aluminio

Modulo elástico	6.9×10^{10}	N/m ²
Límite de tracción	68935600	N/m ²
Límite elástico	27574200	N/m ²

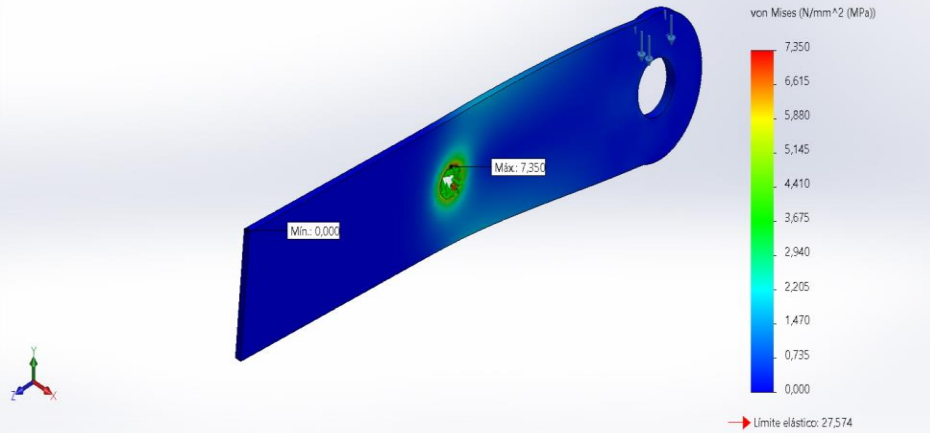


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

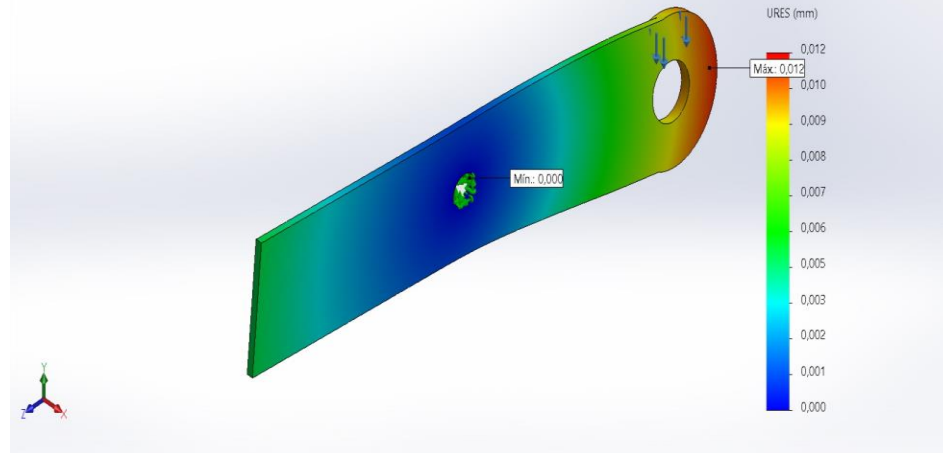
Diseño

Soporte reductor-vaporizador

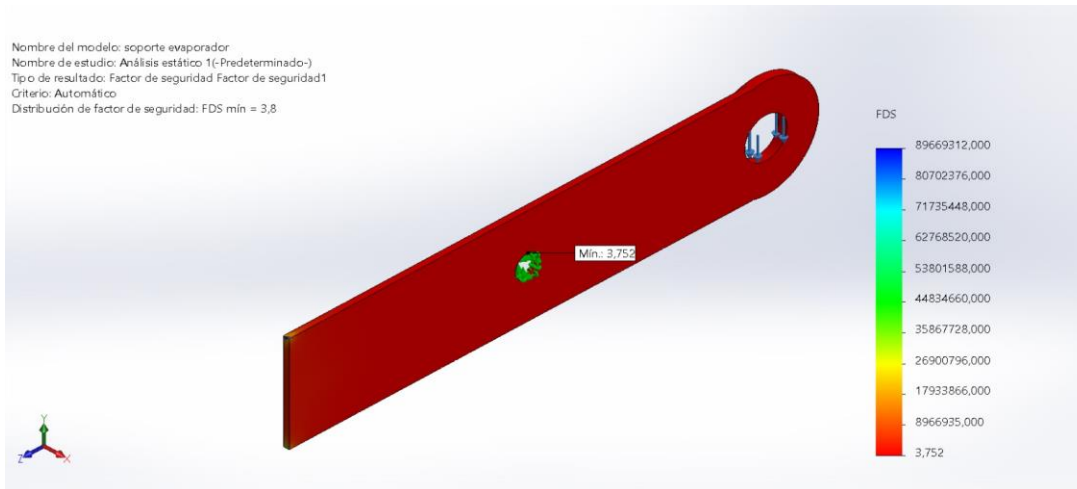
Nombre del modelo: soporte evaporador
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1.506,3



Nombre del modelo: soporte evaporador
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1.506,3

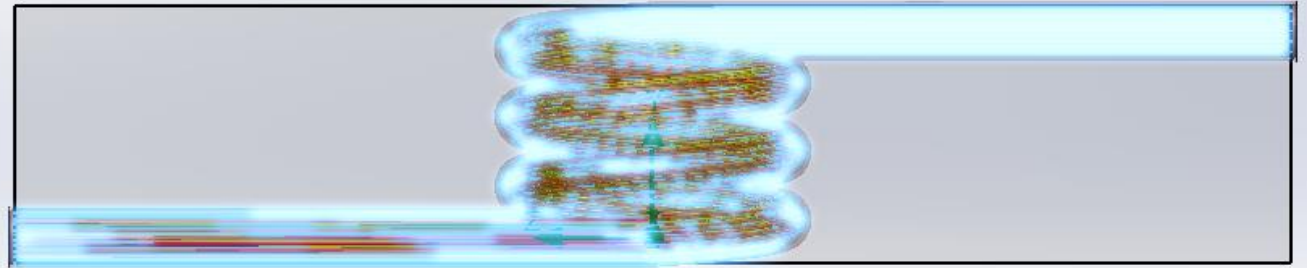
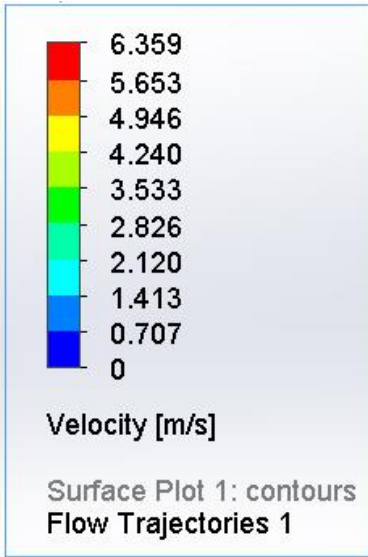


Nombre del modelo: soporte evaporador
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 3,8



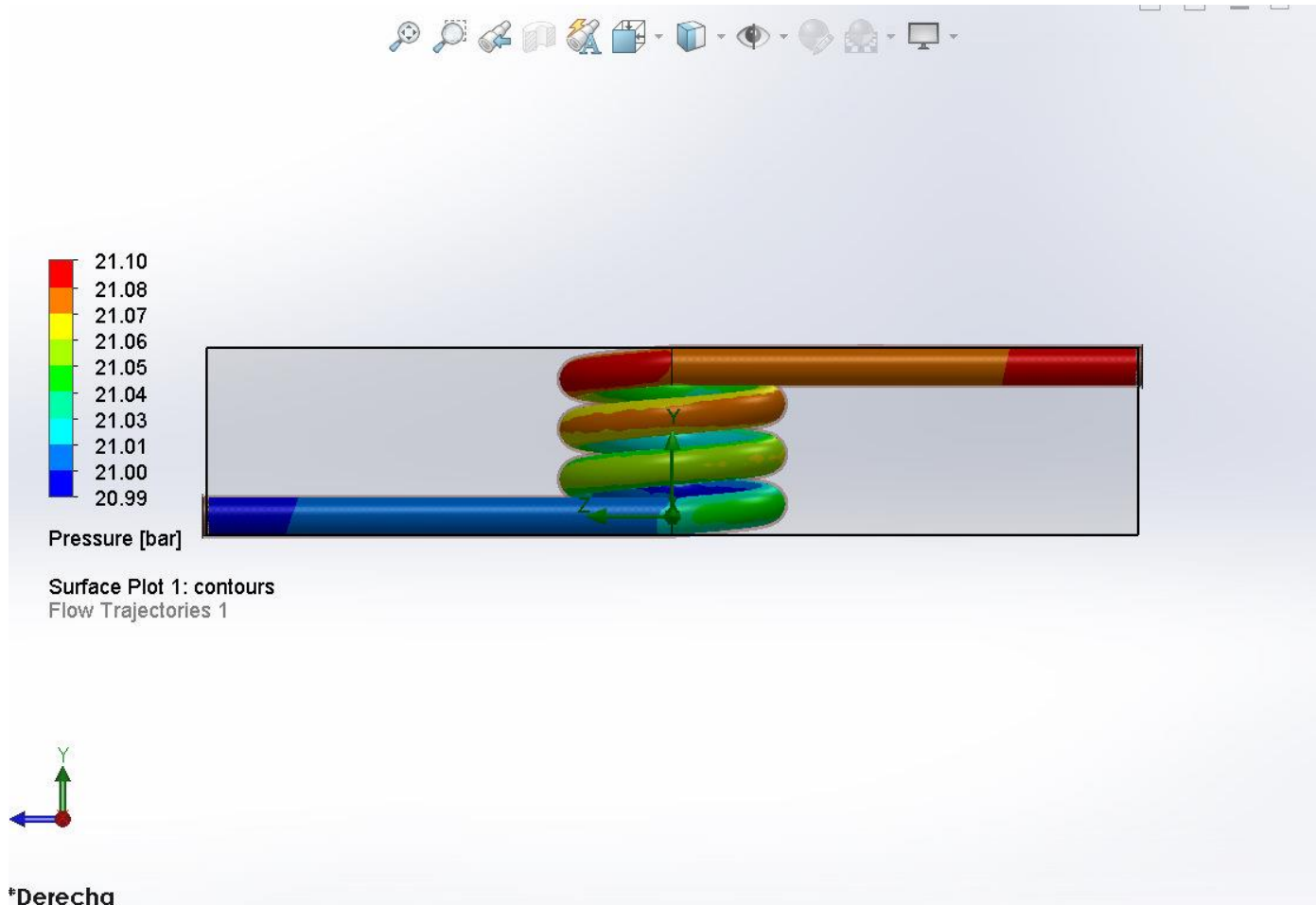
Diseño

Análisis de dinámica de fluidos en achurado de la tubería de alta presión



Diseño

Análisis de dinámica de fluidos en achurado de la tubería de alta presión



Diseño

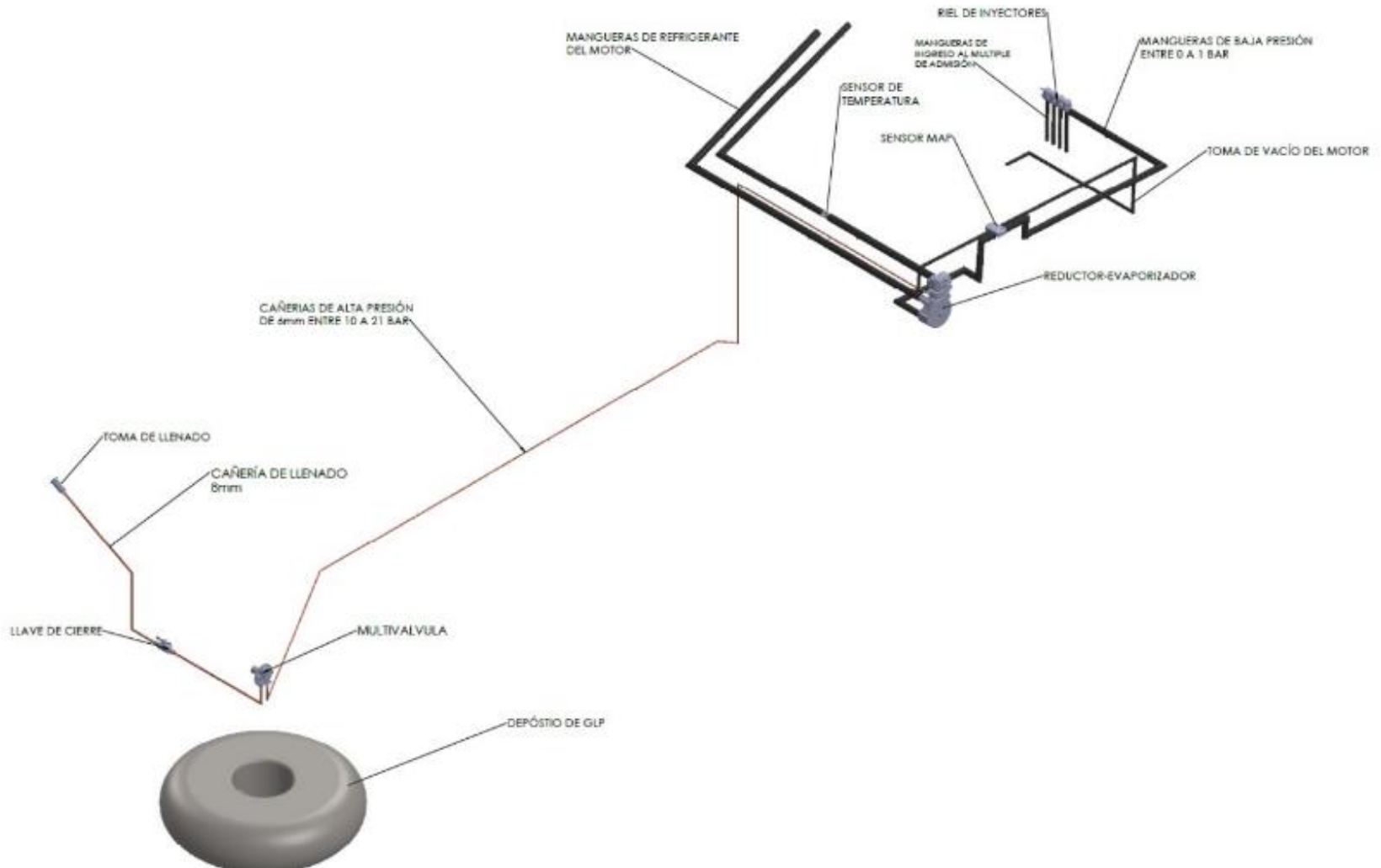
Apartado mecánico

Componente	Características	Valores
Carrocería del compartimiento posterior	Máxima deformación	3,35 mm
Pernos del sistema de fijación del depósito	Clase del perno	4,6
	Diámetro externo	12 mm
	Resistencia a la fluencia mínima	240 MPa
	Resistencia a la tensión mínima	400 MPa
	Material	Acero de bajo o medio carbono
Soporte reductor-evaporador	Material	Aluminio
	Límite elástico	27,574 MPa
Achurada tubería de alta presión	Diámetro del achurado	30 mm
	Revoluciones	3



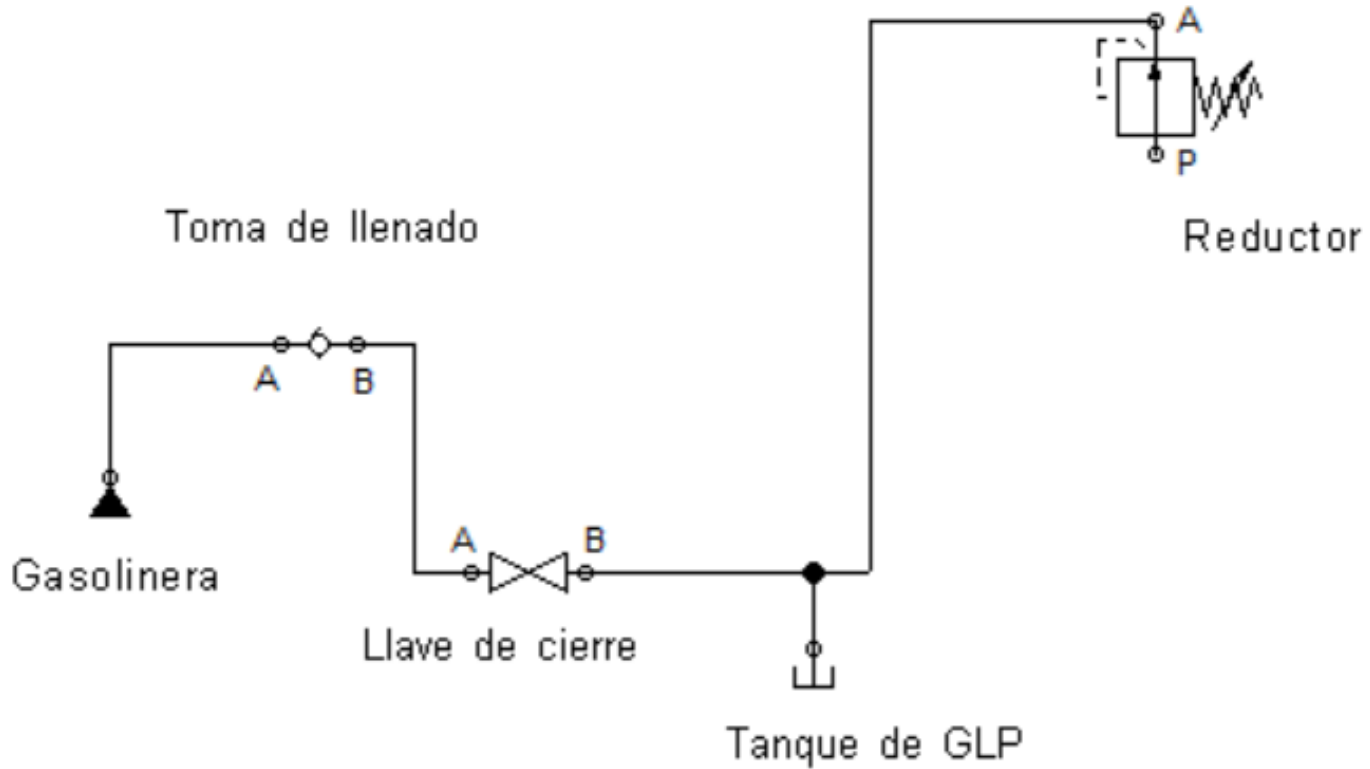
Diseño

Esquema hidráulico y neumático



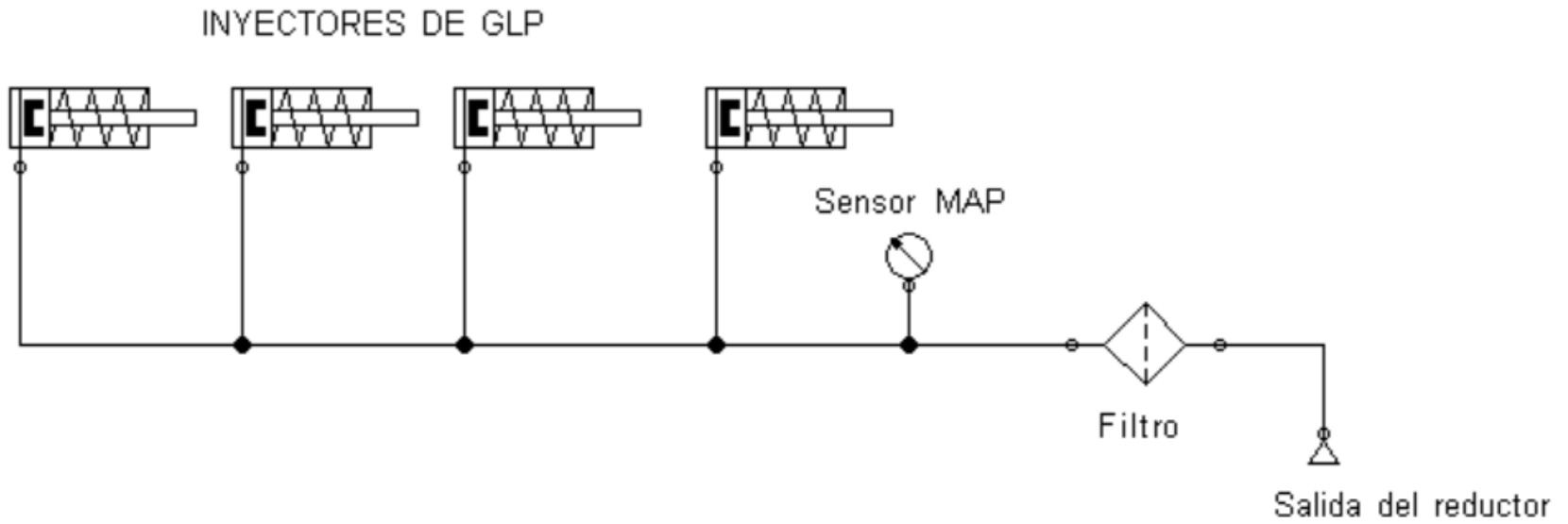
Diseño

Esquema hidráulico

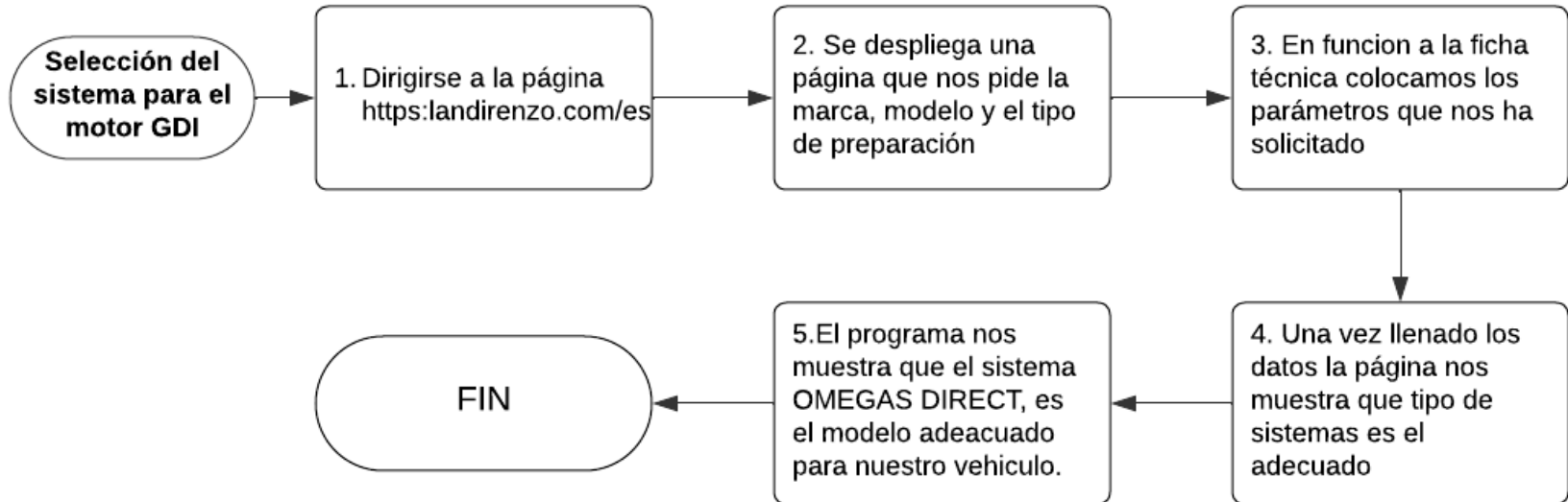


Diseño

Esquema neumático



Selección



Para su modelo de vehículo

Para su tipo de motor

GLP GNC

Mazda

CX-7

2.3 MZR 16V T DISI [2...

Sistema de GLP para motores de inyección directa
OMEGAS DIRECT

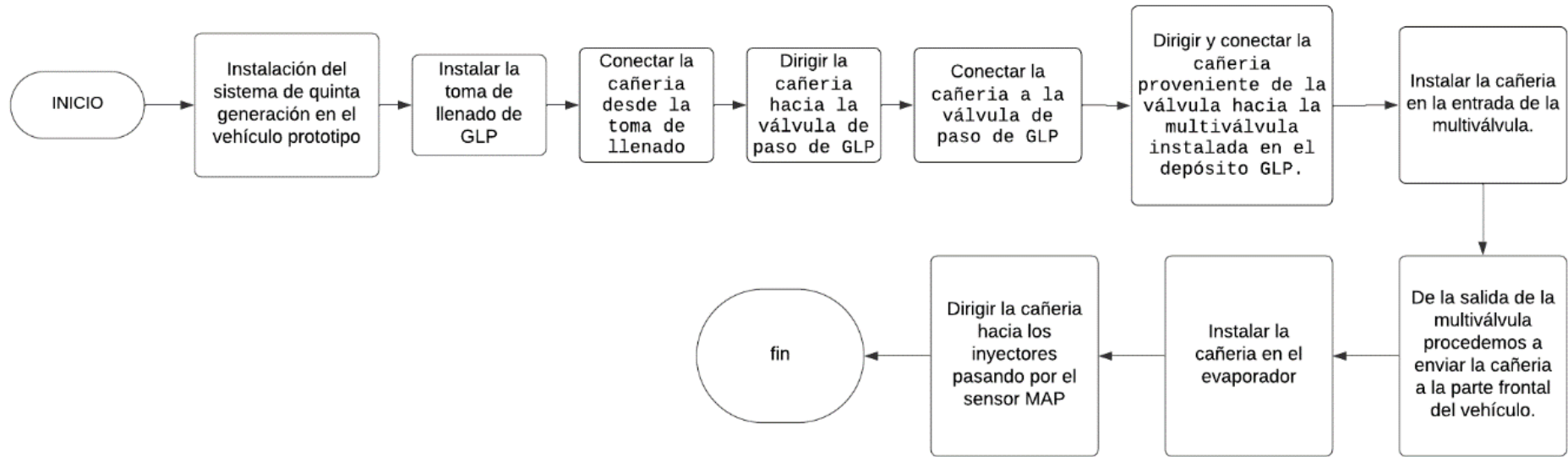


Selección

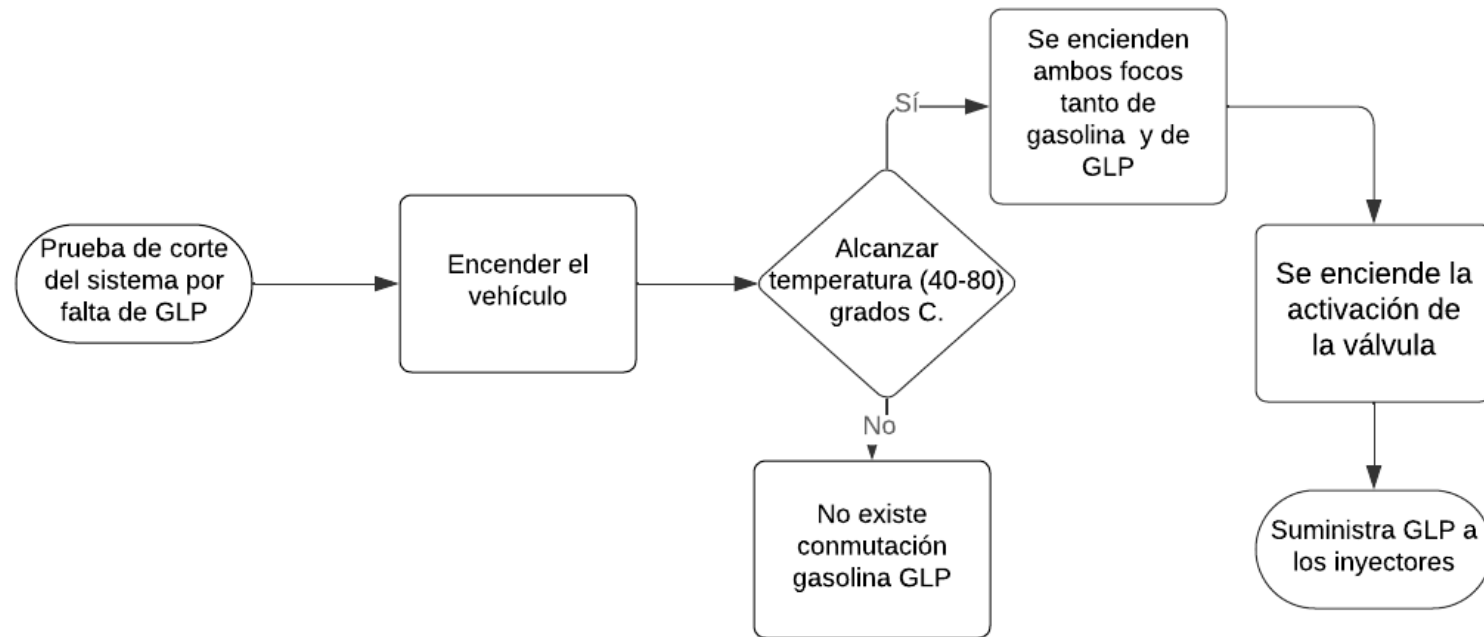
Inyector GIRS 12	Talla	Potencia Máxima (kW)
Para motores de 4 cilindros	S	74-88
	M	88-114
	L	114 en adelante



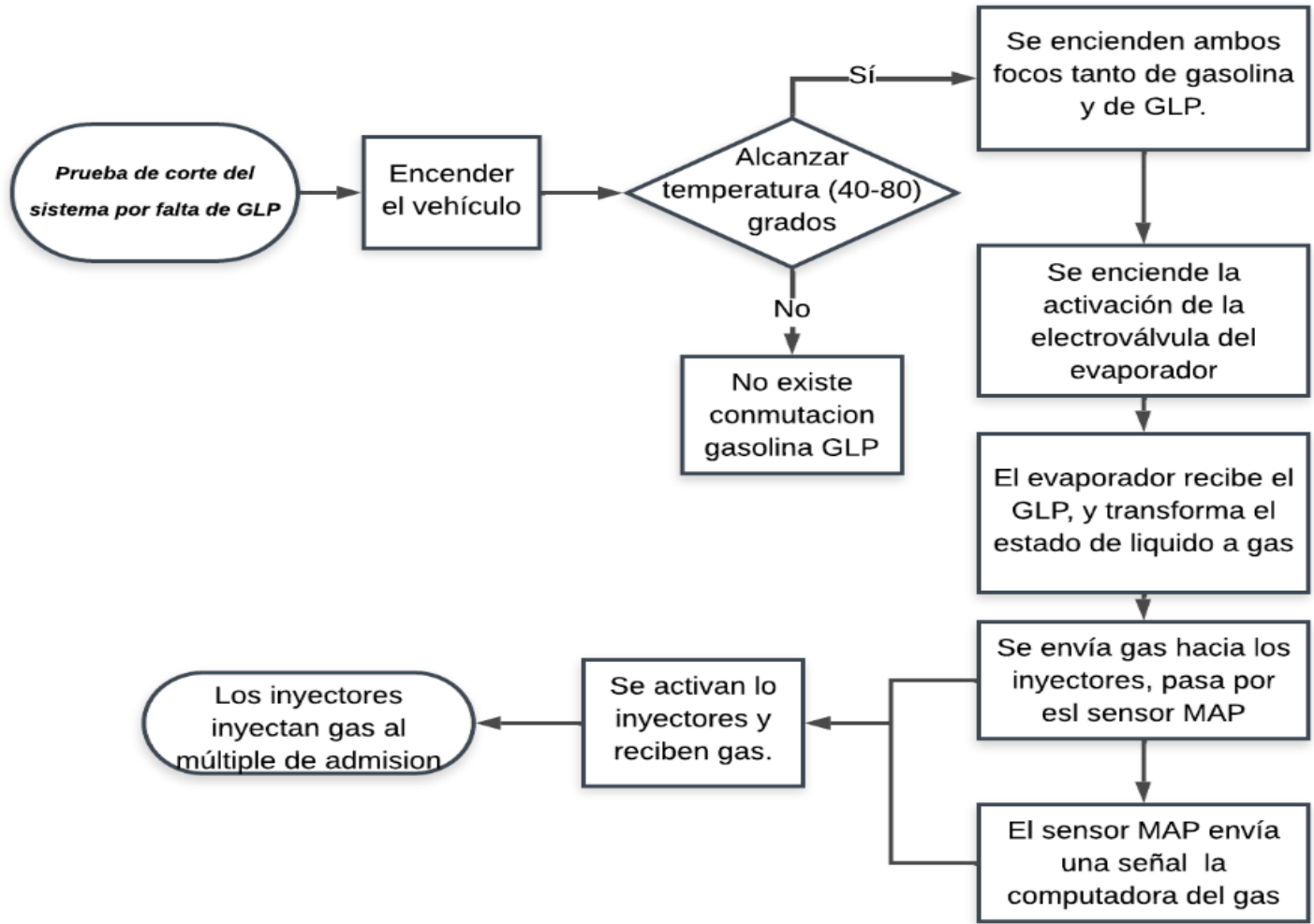
Protocolo de instalación y ubicación de los elementos del sistema GLP



Activación electroválvula del evaporador

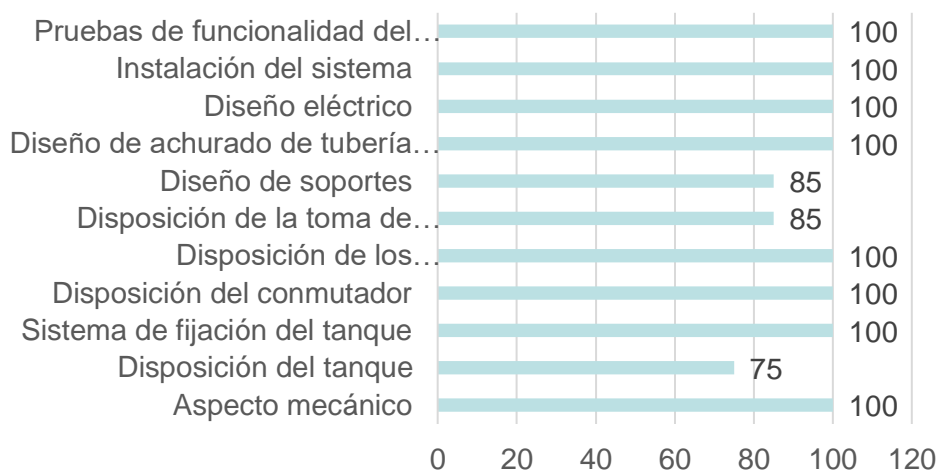


Protocolo de prueba de inyección de GLP

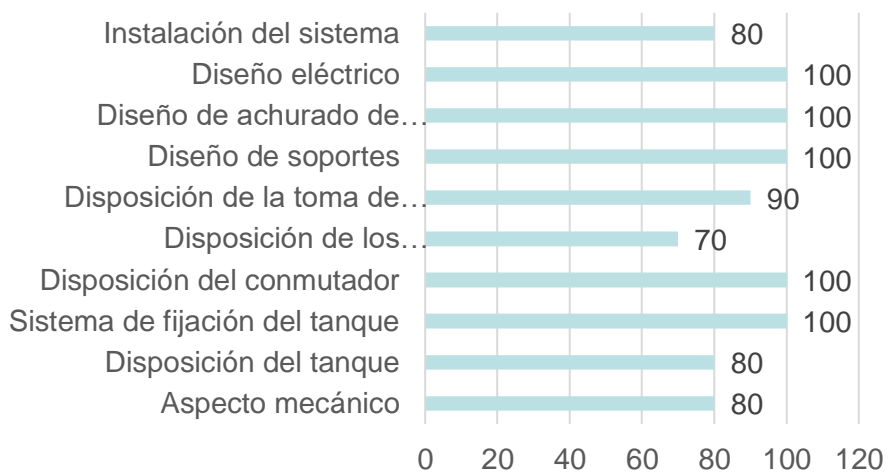


Porcentajes Alcanzados

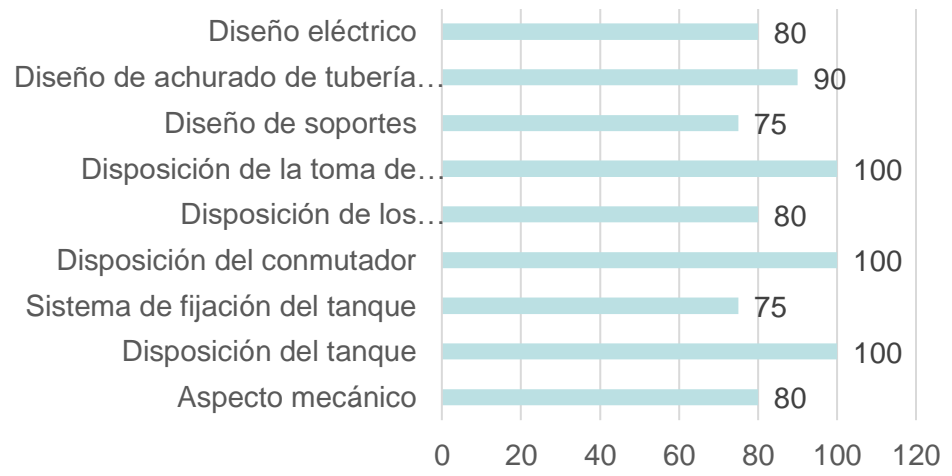
%Seguridad



%Cumplimiento del diseño

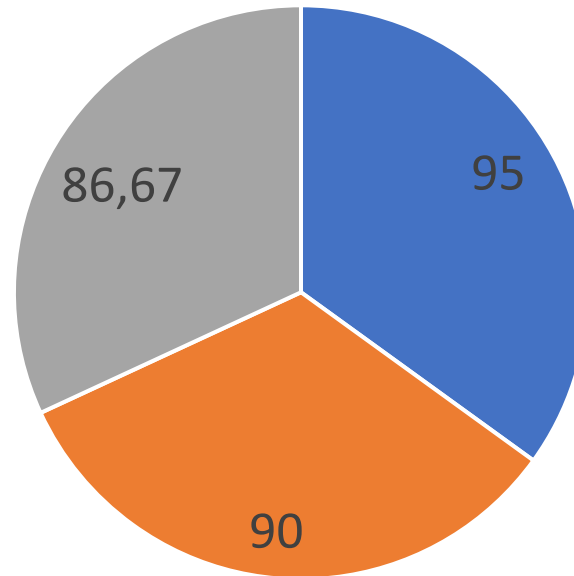


%Accesibilidad componentes



Porcentajes Alcanzados

Aspectos considerados



■ %Seguridad ■ %Cumplimiento del diseño ■ %Accesibilidad



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 0,25 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 \$



Análisis económico

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

Con los Datos Obtenidos se tiene un ahorro de alrededor 1100 dólares
Al año dándonos una recuperación de la instalación en dos años 6 meses
Aproximadamente a partir de la tabla dad por Petroecuador a las abastecedoras



Análisis económico

Consumo de gasolina	Consumo de GLP
1647.32\$	686.4\$

Con los Datos Obtenidos se tiene un ahorro de alrededor 957,332 dólares
Al año dándonos una recuperación de la instalación en 3 años aproximadamente
a partir de los valores de las gasolineras en Ecuador.



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%.



CONCLUSIONES

- Se obtuvo un 98,88% acorde a la normativa técnica ecuatoriana NTE INEN 2311 para conversión y un 99,60% según lo fijado por la NTE INEN 2310.
- Se recopiló información necesaria para realizar la adaptación de sistemas de quinta generación de GLP en motores de inyección directa.
- Se esquematizó el apartado eléctrico del kit de GLP identificando los sensores y actuadores utilizados.
- Por medio de pruebas del prototipo de sistema de alimentación de GLP se pudo garantizar en accesibilidad a los componentes del kit en un 86,67%.
- Se evidenció un incremento en la potencia del vehículo en relación al uso exclusivamente de gasolina, viéndose reflejado en un ahorro económico.
- Se cumplió con el diseño de soportes de manera correcta para que el reductor-evaporador no tenga ningún movimiento que pueda producir alguna fuga, en pleno funcionamiento del vehículo.
- En base al diseño y la simulación realizada se obtiene un resultado positivo en cuanto a disminución de presión de GLP antes de ingresar al reductor-evaporador.



RECOMENDACIONES

- Establecer parámetros de mantenimiento adecuados para el kit de quinta generación de GLP en función de las condiciones de calidad del combustible en Ecuador.
- Establecer un proceso para la detección de fugas de GLP en los diversos componentes del kit.
- Analizar las ventajas y desventajas del kit de sexta generación de diferentes marcas que tienen la facilidad para adaptarse al vehículo GDI.
- Determinar las ventajas y desventajas del uso de variadores de avance al encendido en el motor GDI con sistema de alimentación de GLP de quinta generación.
- Determinar los kits de instalación GLP en vehículos con motores de inyección directa mono punto y multipunto.



MUCHAS GRACIAS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA