

**TEMA:**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA  
GASOLINA SFI EN EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 4G13  
MITSUBISHI LANCER 1300CC PARA OPTIMIZACIÓN DE SUS PARÁMETROS  
CARACTERÍSTICOS**

**Autores:**

**Codena Iza, Bryan Alexander**

**Morales Alba, Anderson Eduardo**

**Director:**

**Ing. Erazo Laverde, Washington Germán**

**Latacunga**

**2022**



# Contenido

**Objetivos**

**Objetivo General**

**Objetivos Específicos**

**Metas**

**Planteamiento del problema**

**Hipótesis**

**Marco teórico**

**Introducción**

**Cálculos**

**Diseño del múltiple de admisión**

**Simulación y análisis**

**Montaje y adecuaciones de los sistemas**

**Pruebas y comparación de resultados**

**Conclusiones**

**Recomendaciones**



# Objetivos

## Objetivo General

- Implementar el sistema de inyección electrónica gasolina SFI en el motor de combustión interna 4G13 Mitsubishi Lancer 1300cc para optimización de sus parámetros característicos.

## Objetivos específicos

- Analizar parámetros característicos del motor Mitsubishi Lancer, para la implementación del sistema de inyección electrónica.
- Diseñar e implementar un múltiple de admisión, que permita obtener el máximo rendimiento del motor de combustión interna.
- Seleccionar elementos electro- mecánicos, para el control de inyección de combustible.



- Realizar diferentes adecuaciones mecánicas y eléctricas previo a la instalación del sistema de inyección electrónico.
- Instalar y poner a punto el motor 4G13 con el sistema de inyección electrónica
- Desarrollar pruebas características del motor con el sistema implementado.
- Realizar comparaciones de desempeño del motor con carburador y con inyección electrónica.



## Metas

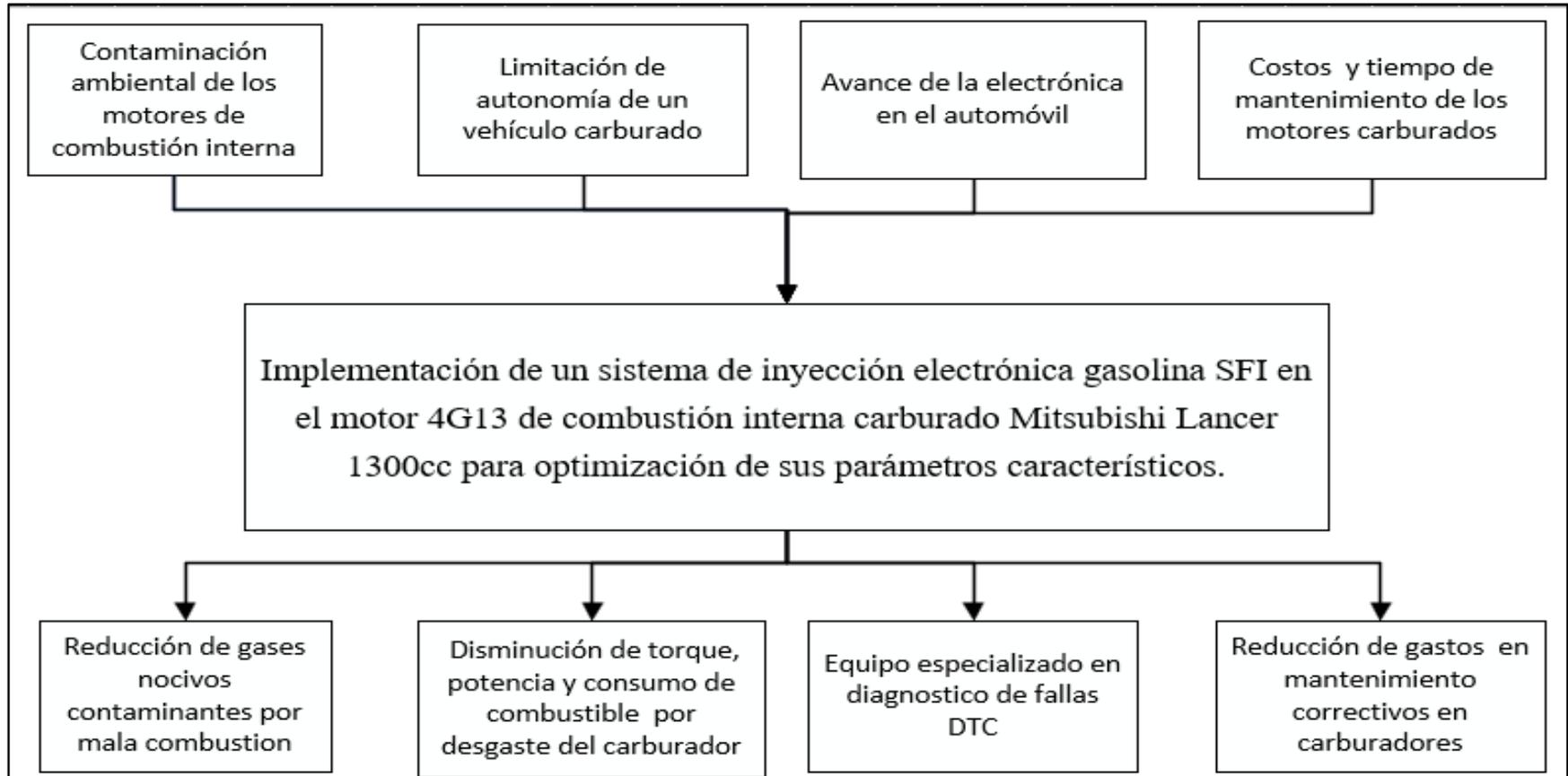
- Mejorar consumo de combustible en 15%, potencia en 25 % y torque en 5% al implementar el sistema de inyección electrónica.
- Reducir la emisión de gases contaminantes hasta un 25% con la implementación del sistema de inyección electrónica.

## Hipótesis

¿Al implementar el sistema de alimentación electrónico SFI en el motor 4G13, Mitsubishi Lancer 1300cc, se incrementará los parámetros característicos del motor de combustión interna, y la disminución de CO<sub>2</sub> emitido por la combustión de la mezcla estequiométrica?

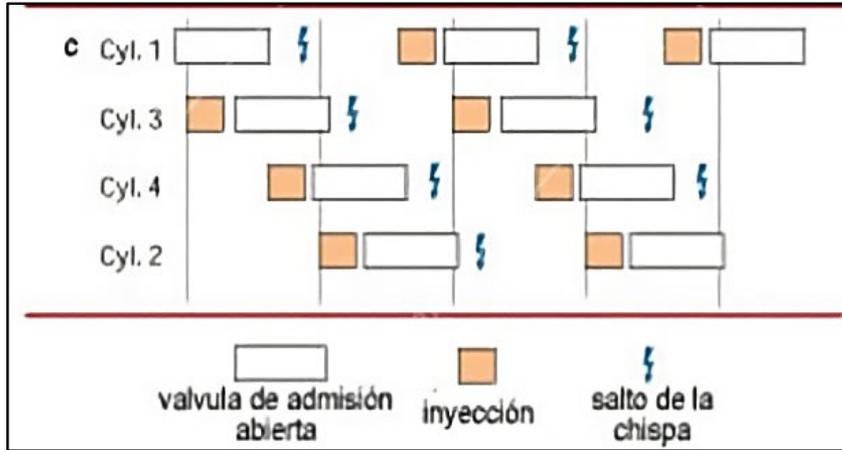


# Planteamiento del problema



## Sistema de inyección SFI

### Orden de inyección secuencial



El sistema de inyección basa su funcionamiento en la medición de algunos parámetros como estado de carga del motor, densidad del aire, régimen de giro del motor, posición del cigüeñal o del árbol de levas, temperatura del líquido refrigerante, posición de aceleración y el monitoreo del contenido de oxígeno de los gases de escape (Gomez & Ramos, 2005).

Nota. La figura indica la inyección y chispa es de forma secuencial en cada cilindro cada 720 grados. Tomada de tipos de inyecciones, por Laverde & Panchi, 2007.

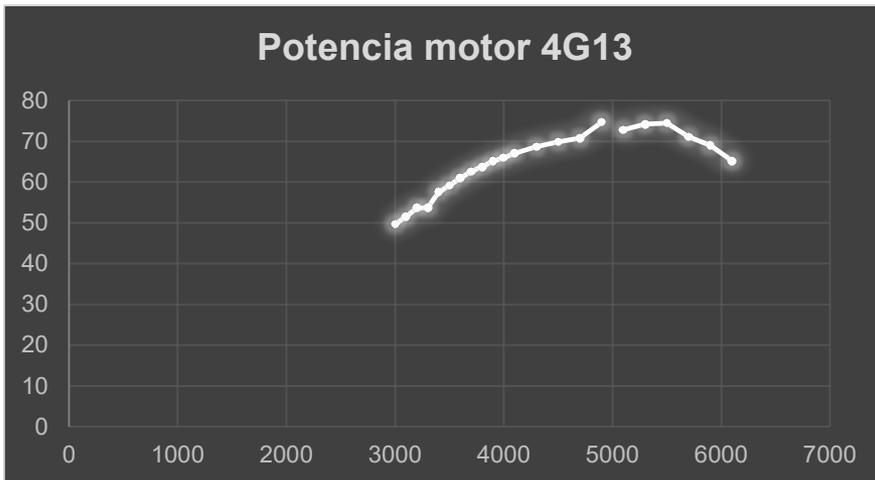
## Parámetros característicos del MCI

Los tres parámetros característicos del motor como el par, la potencia y el consumo específico indican el estado del motor, los cuales pueden ser positivos o negativos, debido a la pérdida porcentual que se tiene con el transcurso del tiempo.



# Potencia

## Curva característica de potencia de motor



*Nota.* La figura representa el incremento de la potencia del motor cuando aumenta el rpm del motor. Adaptado del proyecto.

“El trabajo que produce un motor en la unidad de tiempo. La potencia se mide en caballos de vapor (C.V) o en Kilovatios y esta depende de: la cilindrada, la relación de compresión, el número de revoluciones del motor, hasta un límite; el llenado de los cilindros o relación volumétrica” (Ramírez, 2017, pág. 17).



## Torque o par motor

### Curva característica del torque del motor



*Nota.* La figura representa el incremento del torque del motor cuando aumenta el rpm y llegue a su máximo y vuelva a descender.

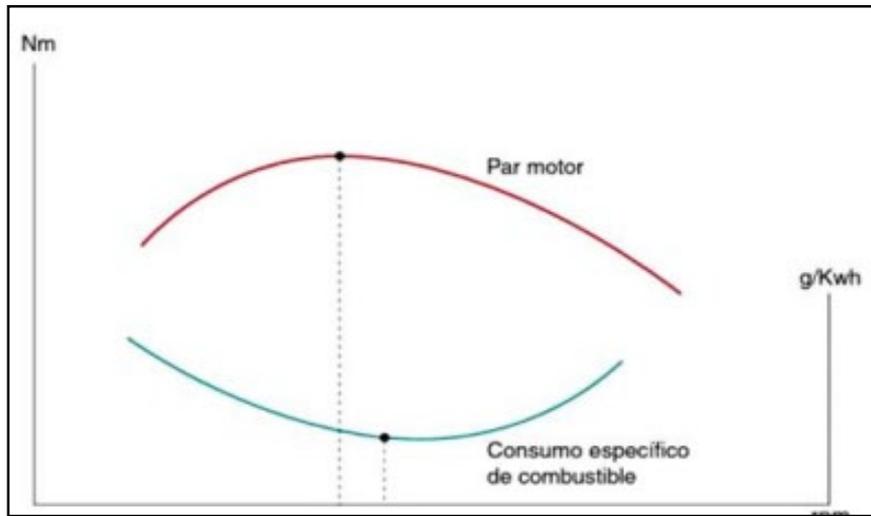
Adaptado el proyecto.

“El trabajo que produce un motor en la unidad de tiempo. La potencia se mide en caballos de vapor (C.V) o en Kilovatios y esta depende de: la cilindrada, la relación de compresión, el número de revoluciones del motor, hasta un límite; el llenado de los cilindros o relación volumétrica” (Ramírez, 2017).



# Consumo específico de combustible

## Curva de consumo específico de combustible y par



Nota. El consumo de combustible depende el par motor, a menos par motor el consumo de combustible es mayor. Adaptado de consumo de combustible, por Palomo & Pilataxi , 2012.

Es la cantidad de combustible consumido por cada unidad de trabajo desarrollado por el motor.

También se define como la relación que existe entre la masa de combustible consumida y la potencia entregada. Se obtiene mediante pruebas en el banco y se expresa en  $C_s$ , y se mide en g/kW\*h (gramos por kilovatio hora) y en g/CV\*h (gramos por caballo vapor hora) (Palomo & Pilataxi, 2012, pág. 20)



# Diseño e implementación del sistema



# Características del motor 4G13

<b>Motor</b>	<b>4 línea</b>
<b>Cilindraje</b>	1298 cm <sup>3</sup>
<b>Número de cilindros</b>	4
<b>Diámetro x carrera</b>	71.0 x 82.0 mm
<b>Orden de encendido</b>	1-3-4-2
<b>Relación de compresión</b>	9.5:1
<b>Volumen de cámara</b>	38.24 cm <sup>3</sup>
<b>Potencia</b>	74 HP @ 6000 rpm
<b>Par máximo</b>	79 lb. Ft @ 3000 rpm



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Motor 4G13 estado inicial



Motor 4G13 estado final

## Parámetro y valores calculados

Parámetro	Valor
Cilindrada unitaria (Vh)	$324.65 \text{ cm}^3$
Volumen de la cámara de combustión (Vc)	$38.19 \text{ cm}^3$
Po	$763 \text{ mm Hg} = 101725 \text{ Pa}$
Densidad del aire $\rho_o$	$1.232 \text{ kg/m}^3$
Masa de aire en admisión	$1.788 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$
Flujo volumétrico	$\dot{V} = 0.02188 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
$v = 15.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	
Flujo másico	$\dot{m}_A = 0.027 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$



Parámetro	Valor
Pa	0.09526 MPa
Ta	597.59 K
Pc	2.133 MPa
Tc	1409.016 K
Tz	2614.801 K
Pz	4.441 MPa
Pb	0.272 MPa
Tb	1523.29 K
Q1	865.753 $\frac{KJ}{Kg}$
Q2	664.652 $\frac{KJ}{Kg}$
<i>Wneto</i>	201.101 $\frac{KJ}{Kg}$
	4.12 HP



Parámetro	Valor
Velocidad a la salida del colector de admisión	$32.41 \frac{m}{s}$
Velocidad del pistón	$9.84 \frac{m}{s}$
Superficie del pistón	$3.959 \times 10^{-3} m^2$
Sección del conducto	$S_c = 1.201 \times 10^{-3} m^2$
Diámetro del conducto	$D = 39.1 mm$



## Propiedades mecánicas del material

El material seleccionado es acero inoxidable AISI 304, a continuación, se presenta las propiedades mecánicas del material extraídas de (Budynas & Nisbett, 2012).

$$S_{uy} = \text{Resistencia a la fluencia} = 40 \text{ Kpsi}$$

$$\alpha = \text{Coeficiente de dilatacion termica} = 15 \text{ W/m} * K$$

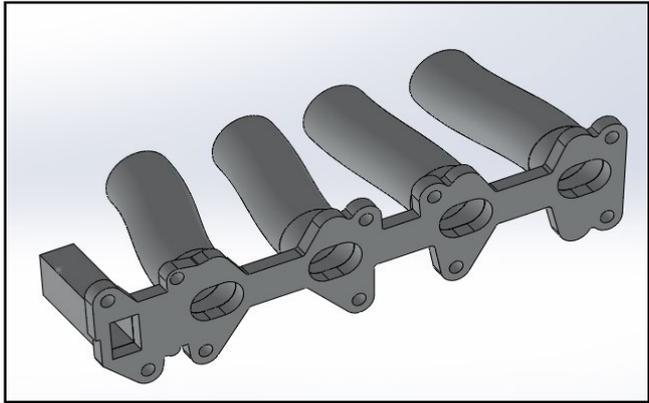
$$E = \text{módulo de elasticidad} = 28 \text{ Mpsi}$$

$$\lambda = \text{módulo de poison} = 0.3$$

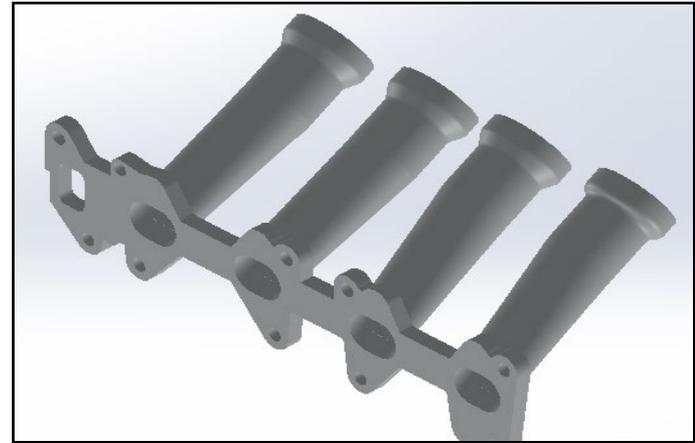
Medida del tubo	Díámetro exterior mm	Espesor mm	Díámetro interior mm
1 3/4	42.2	1.5	39.2



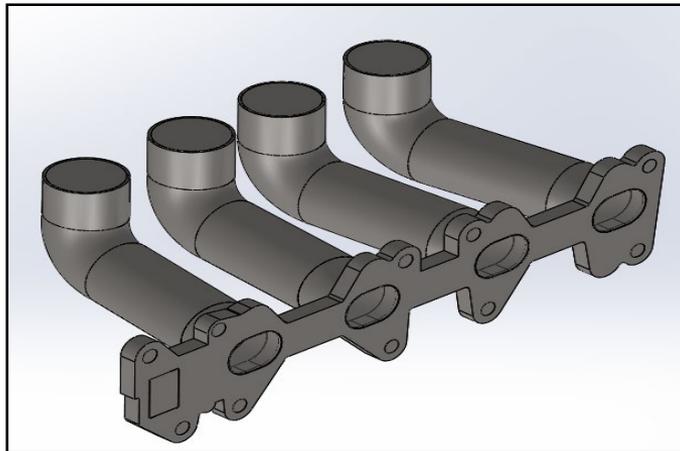
## Propuestas de diseño



Diseño del múltiple 0° grados de inclinación



Diseño del múltiple 45° grados de inclinación



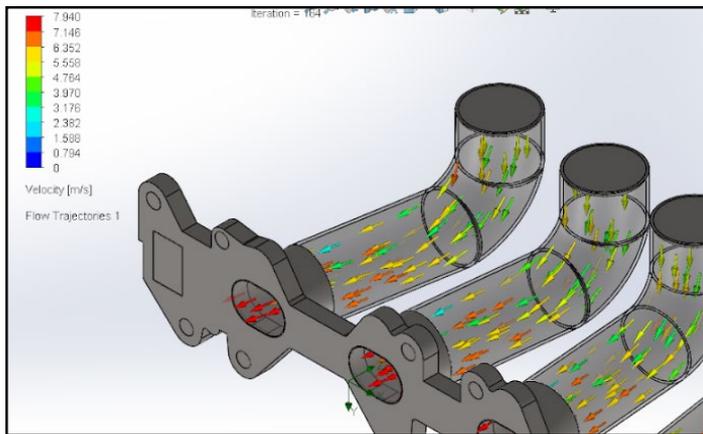
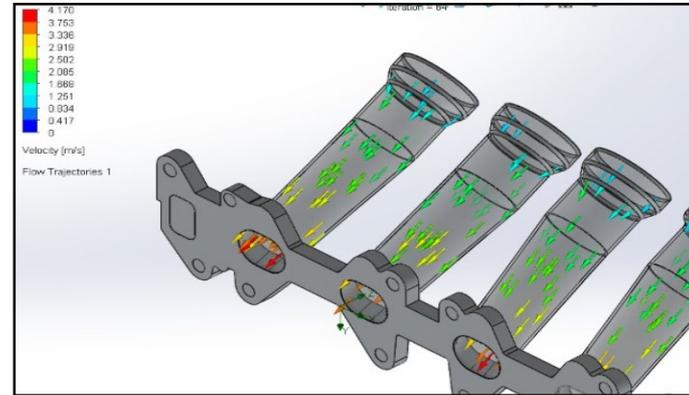
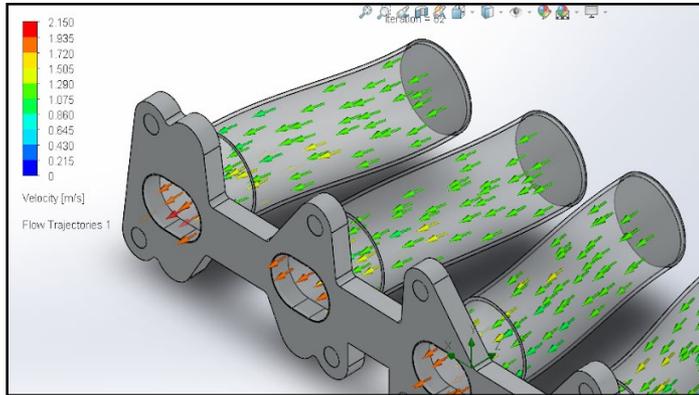
Diseño del múltiple 0° grados de inclinación



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Simulación y análisis

La interpretación de resultados se realiza con buen criterio ingenieril como en la primera propuesta.



## Datos iniciales de ingreso a CFD

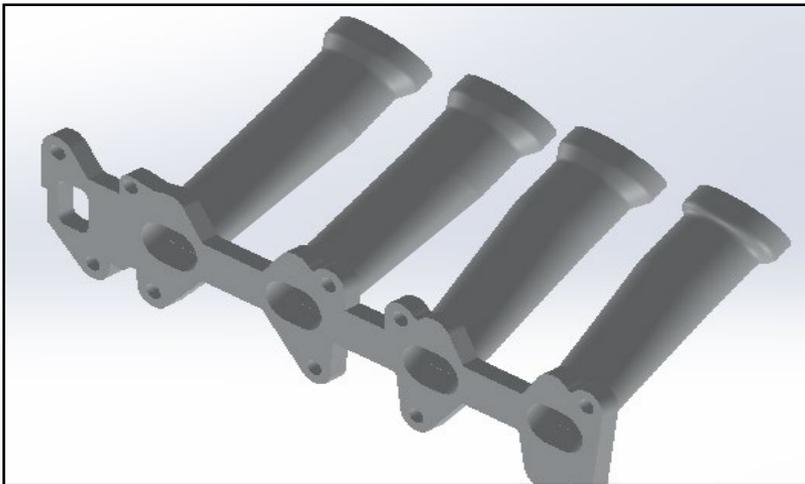
	Revoluciones (RPM)	Velocidad (m/s)	Temperatura (°C)
<b>Baja</b>	1000	1.2	38
<b>Media</b>	3500	5.2	40
<b>Alta</b>	6100	15.8	40.6



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

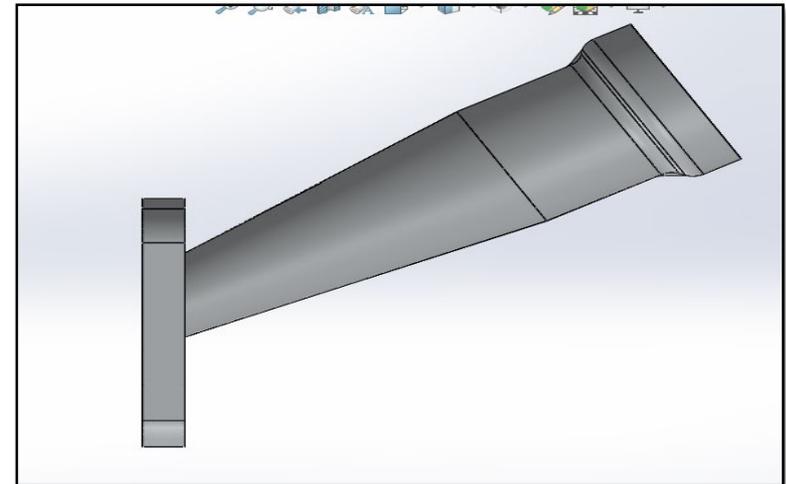
## Diseño del múltiple de admisión

**Vista isométrica del múltiple  
a 45° de inclinación**



*Nota.* Diseño número 2 del nuevo múltiple de admisión en vista isométrica. Tomado de SolidWorks 2020.

**Vista lateral del múltiple  
a 45° de inclinación**

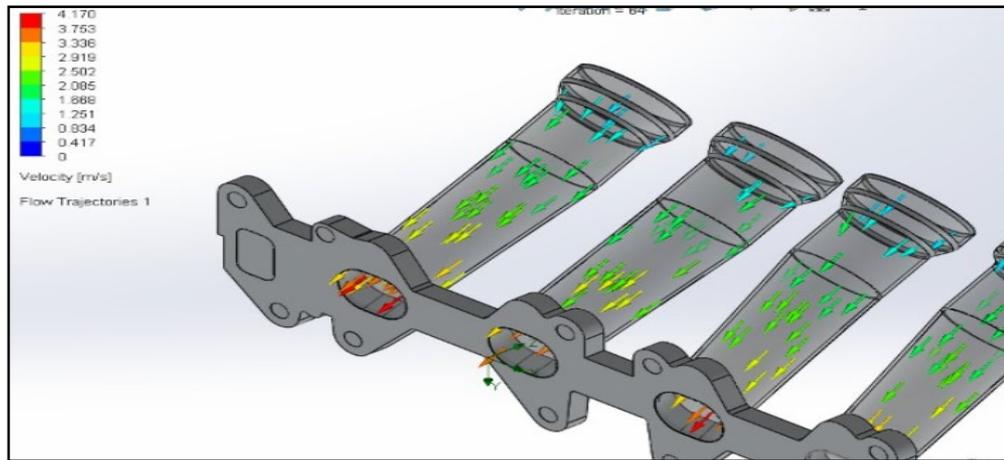


*Nota.* Diseño número 2 del nuevo múltiple de admisión en vista lateral. Tomado de SolidWorks 2020

## Velocidad del fluido

### Carga baja - Ralentí

El incremento de la velocidad del aire gracias al efecto Venturi, además, la velocidad del fluido aumenta en gran porcentaje en su tramo final, Por consiguiente, el fluido que ingresa a 1.2 m/s, se incrementa a 4.17 m/s dando como resultado un incremento del 247.5%.



*Nota. Valores de velocidad dentro del segundo múltiple modelado cuando esta en ralentí.*

*Tomado de SolidWorks 2020*

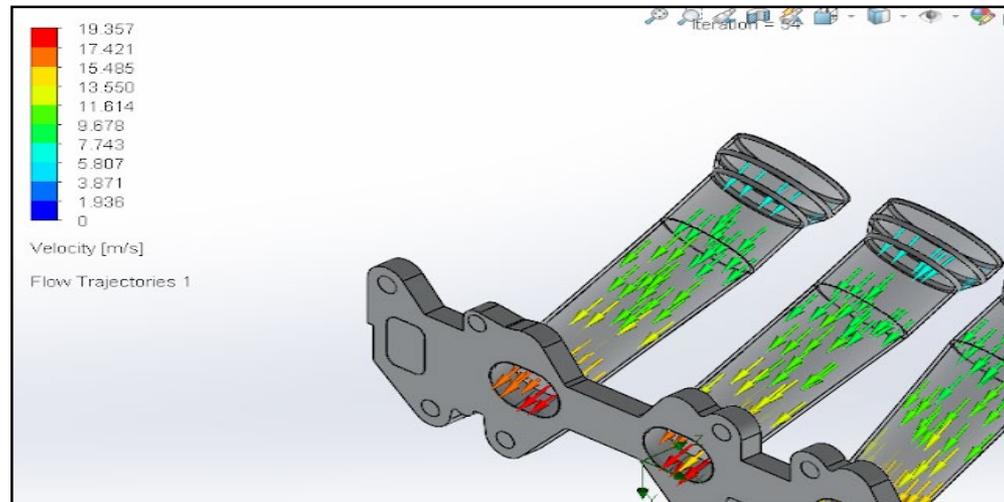


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Carga media – 3500 RPM

El incremento del fluido del aire cuando gira a 3500 RPM, la velocidad del fluido en el nuevo modelo a 45°, que ingresa 5.2 m/s, a una salida máxima de 19.35 m/s dando como resultado un incremento del 272.11%.

### Múltiple a 45 ° 0° de inclinación – carga media



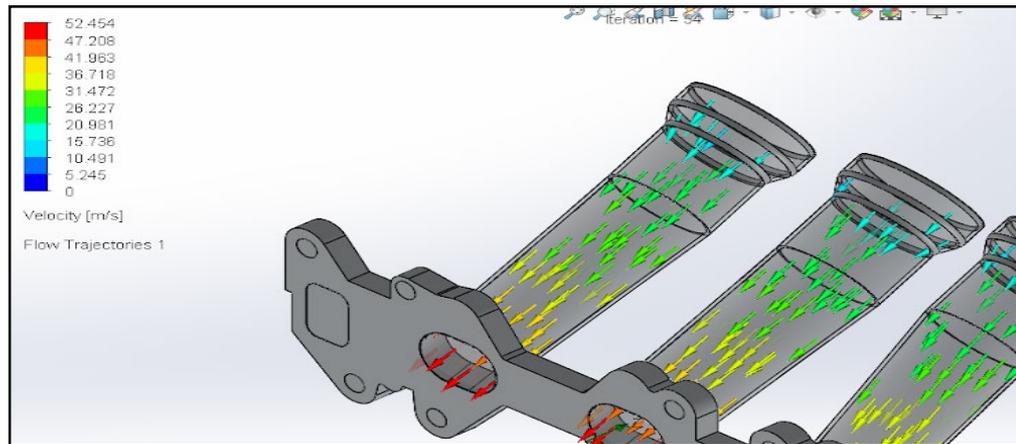
*Nota. Valores de velocidad dentro del segundo múltiple modelado en condiciones de aceleración media. Tomado de SolidWorks 2020*



## Carga alta – 6100 RPM

El aire no presenta pérdida de velocidad en toda de trayectoria, es decir que el aire que ingresa a 15.8 m/s, tiene una salida máxima de 52.46 m/s dando como resultado un incremento del 232.02%.

### Múltiple a 45° de inclinación – carga alta



Nota. Valores de velocidad en toberas del múltiple modelado en condiciones de aceleración alta. Tomado de SolidWorks 2020



## Relación de velocidades a diferentes cargas

<b>Valores de la velocidad obtenidos del software</b>		1	2	3	4
<b>Cilindros</b>					
Baja 1000 RPM	Velocidad de ingreso (m/s)		1,2		
	Velocidad de salida (m/s)	4,17	4,16	4,171	4,169
Media 3500 RPM	Velocidad de ingreso (m/s)		5,2		
	Velocidad de salida (m/s)	19,365	19,35	19,351	19,349
Alta 6100 RPM	Velocidad de ingreso (m/s)		15,8		
	Velocidad de salida (m/s)	52,474	52,331	52,433	52,348

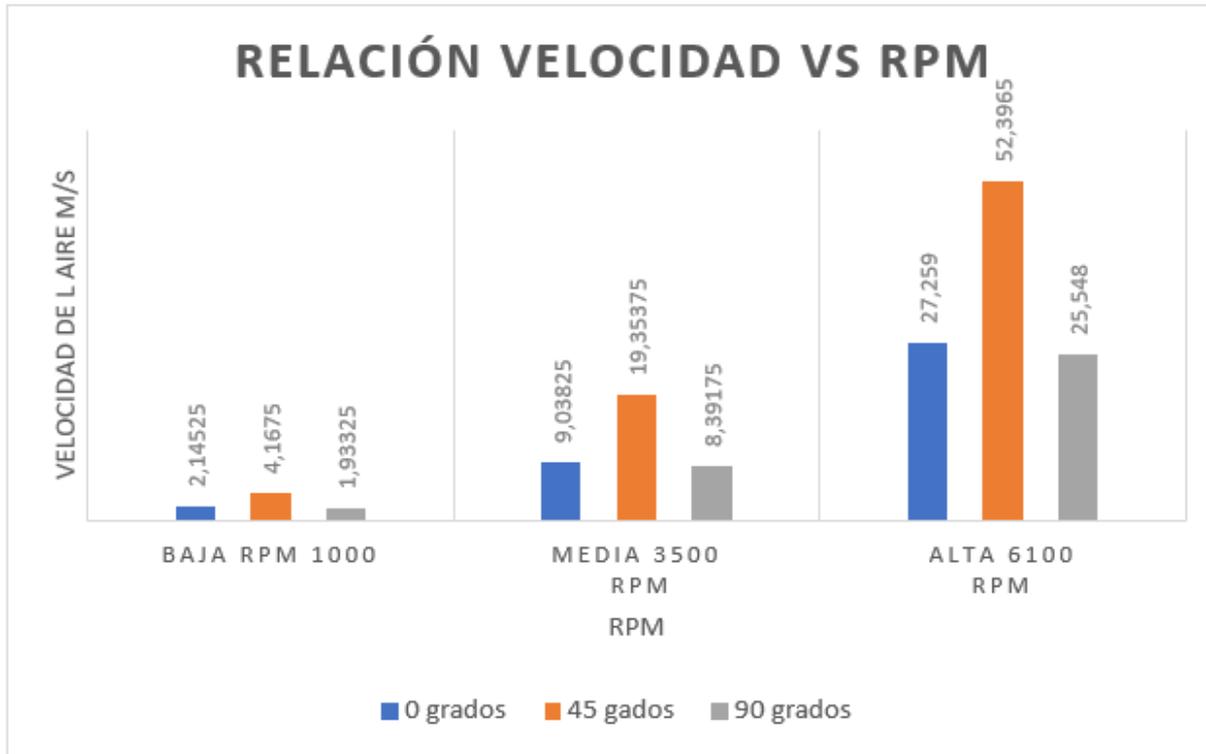


## Flujos másico y volumétrico a diferentes cargas

<b>Valores del flujo másico y volumétrico obtenidos del software</b>		
<b>Cilindros</b>		<b>Promedio</b>
Baja 1000 RPM	Flujo másico (kg/s)	0,0026
	Flujo volumétrico (m <sup>3</sup> /s)	0,0023
Media 3500 RPM	Flujo másico (kg/s)	0,0124
	Flujo volumétrico (m <sup>3</sup> /s)	0,0109
Alta 6100 RPM	Flujo másico (kg/s)	0,0343
	Flujo volumétrico (m <sup>3</sup> /s)	0,03



## Comparación de las velocidades en función de las RPM



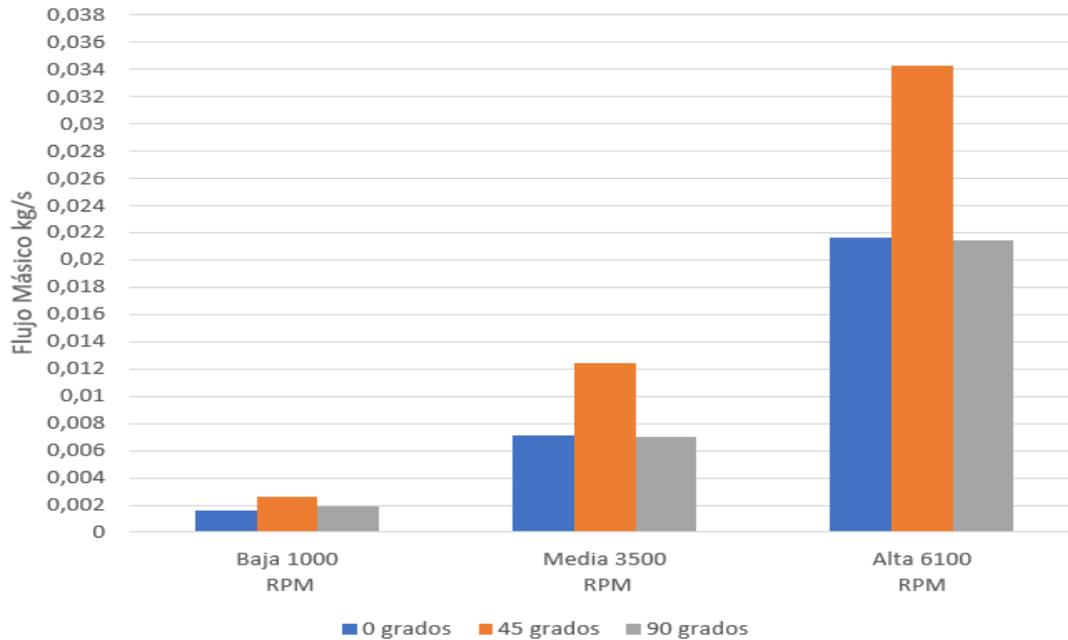
*Nota. Porcentaje de incremento de velocidad de aire dentro de las toberas en los múltiplos de admisión modelados*

La dosificación del aire a las cámaras de admisión del múltiple a 45° de inclinación, incremento la velocidad del aire tanto en bajas, medias y altas revoluciones a comparación de los otros modelados, sobresaliendo entre un 90% a 110% al múltiple de 0° y 90° grados de inclinación .



# Comparación del flujo másico en función de las RPM

Flujo másico vs RPM

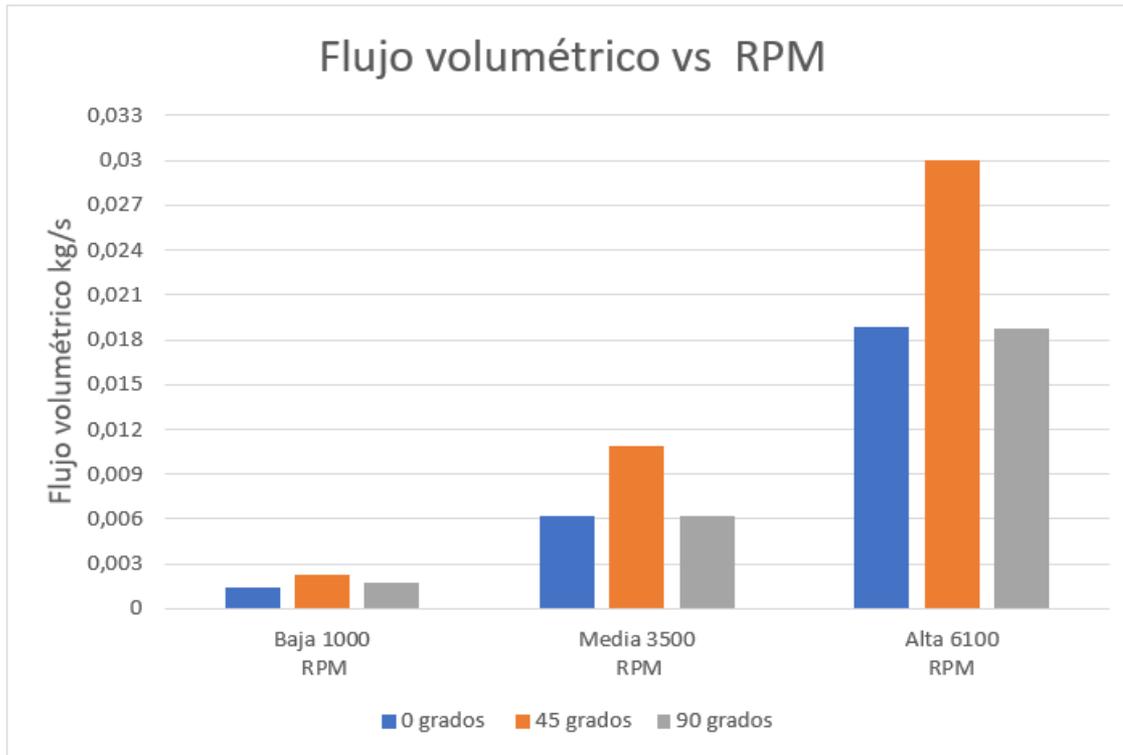


*Nota. Flujo másico de los diferentes múltiplos modelados, subdividido por rpm de giro del motor.*

El modelado que destaca en la dosificación del flujo másico a las cámaras de admisión es el múltiple a 45° de inclinación, donde la cantidad de flujo másico tanto en bajas, medias y altas es el más óptimo. En definitiva, el múltiple a 45 grados sobresale en un 57% a 75% a los múltiplos a 0° y 90° de inclinación.



## Comparación del flujo volumétrico en función de las RPM

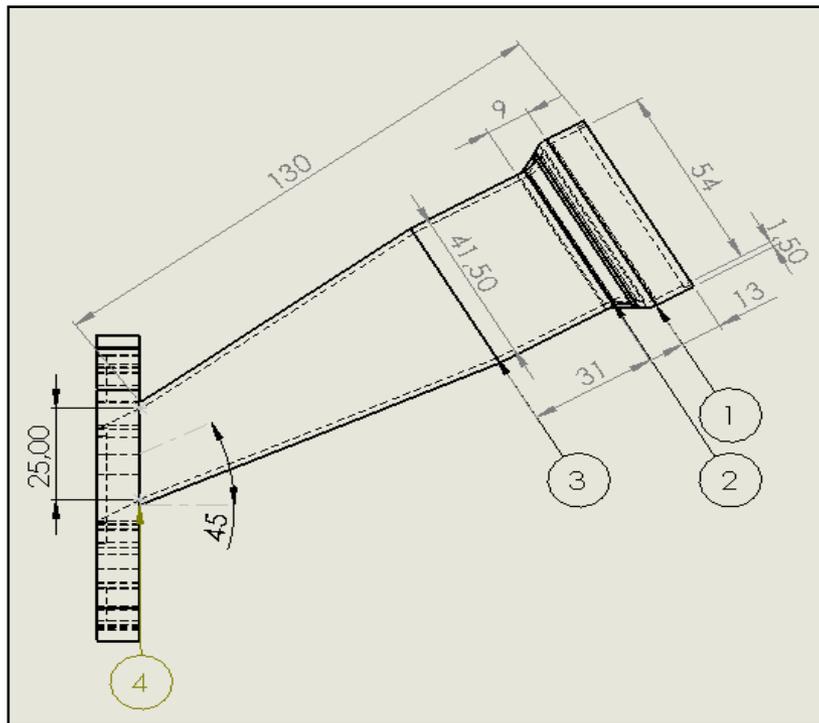


*Nota. Flujo volumétrico de los diferentes múltiples modelados, subdividido por rpm de giro del motor.*

La dosificación del flujo volumétrico en el múltiple seleccionado, sobresale en un 58% a 76% a los múltiples 0° y 90° de inclinación en bajas, medias y altas revoluciones siendo así superior a comparación de los otros modelados.



## Cálculo de velocidades



*Nota. Cotas de las toberas del múltiple de admisión seleccionado para implementar en el motor 4G13*

## Cálculo de áreas

$$V_p * A_1 = V_{1-2} * A_2 = V_{2-3} * A_3 = V_{3-4} * A_4$$

$$V_p = 15.8 \frac{m}{s}$$

$$A_1 = \pi * r^2 = \pi * 0.027^2 = 2.290 \times 10^{-3} m^2$$

$$A_2 = \pi * r^2 = \pi * 0.02075^2 = 1.353 \times 10^{-3} m^2$$

$$A_3 = \pi * r^2 = \pi * 0.02075^2 = 1.353 \times 10^{-3} m^2$$

$$A_4 = \pi * r^2 = \pi * 0.0125^2 = 4.91 \times 10^{-4} m^2$$



## Velocidad del tramo 1-2

$$V_p * A_1 = V_{1-2} * A_2$$

$$V_{1-2} = \frac{V_p * A_1}{A_2}$$

$$V_{1-2} = \frac{15.8 \frac{m}{s} * 2.290 \times 10^{-3} m^2}{1.353 \times 10^{-3} m^2}$$

$$V_{1-2} = 26.74 \frac{m}{s}$$

## Velocidad del tramo 2-3

$$V_{1-2} * A_2 = V_{2-3} * A_3$$

$$V_{2-3} = \frac{V_{1-2} * A_2}{A_3}$$

$$V_{2-3} = \frac{26.74 \frac{m}{s} * 1.353 \times 10^{-3} m^2}{1.353 \times 10^{-3} m^2}$$

$$V_{2-3} = 26.74 \frac{m}{s}$$



## Velocidad del tramo 3-4

$$V_{2-3} * A_3 = V_{3-4} * A_4$$

$$V_{3-4} = \frac{V_{2-3} * A_3}{A_4}$$

$$V_{3-4} = \frac{26.74 \frac{m}{s} * 1.353 \times 10^{-3} m^2}{4.91 \times 10^{-4} m^2}$$

$$V_{3-4} = 73.68 \frac{m}{s}$$



## Número de reynolds

Se calcula el valor del número de Reynolds para examinar si el diseño sigue un flujo de aire laminar o turbulento, por ello se procederá a calcular en las tres secciones del múltiple.

$$Re = \frac{D * v * \rho}{\mu}$$

Donde:

$Re$  = Número de reynolds

$D$  = Diámetro interior de la tubería [m]

$v$  = Velocidad del fluido  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$\rho$  = Densidad del fluido; Aire =  $1.113 \frac{kg}{m^3}$

$\mu$  = Viscosidad dinámica del fluido; Aire =  $1.926 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}$



## Tramo 1-2

$$Re_{1-2} = \frac{D_1 * v * \rho}{\mu}$$

$$Re_{1-2} = \frac{0.054 \text{ m} * 15.8 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1.113 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1.926 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

$$Re_{1-2} = 49304.86$$

## Tramo 2-3

$$Re_{2-3} = \frac{D_2 * v_{2-3} * \rho}{\mu}$$

$$Re_{2-3} = \frac{0.0415 \text{ m} * 26.74 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1.113 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1.926 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

$$Re_{2-3} = 64128.1$$



## Tramo 3-4

$$Re_{3-4} = \frac{D_4 * v_{3-4} * \rho}{\mu}$$

$$Re_{3-4} = \frac{0.025 \text{ m} * 73.68 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1.113 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1.926 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

$$Re_{3-4} = 106445.8$$



Tramo 1-2, pérdida de energía por contracción gradual

$$h_L = K \left( \frac{V^2}{2g} \right) [mca]$$

Por tabla el valor de  $K=0.12$

$$h_{1-2} = 4.371 \text{ mca}$$

Tramo 2-3, pérdida por la sección recta

$$h_{2-3} = \left( f \frac{\Sigma L}{D} \right) * \frac{V_{2-3}^2}{2g}$$

$$h_{2-3} = 0.585 \text{ mca}$$



Tramo 3-4, pérdida de energía por contracción gradual

$$h_L = K \left( \frac{V^2}{2g} \right) [mca]$$

Por tabla el valor de  $K=0.05$

$$h_{3-4} = 13.83 \text{ mca}$$

Pérdida total de energía

$$H_T = h_{1-2} + h_{2-3} + h_{3-4}$$

$$H_T = 18.786 \text{ mca}$$



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Montaje y adecuaciones de los sistemas

Para la implementación del cuerpo de aceleración es importante construir el múltiple de admisión con bases de sujeción para adjuntar los ITBS.





## Montaje del sistema de alimentación de combustible

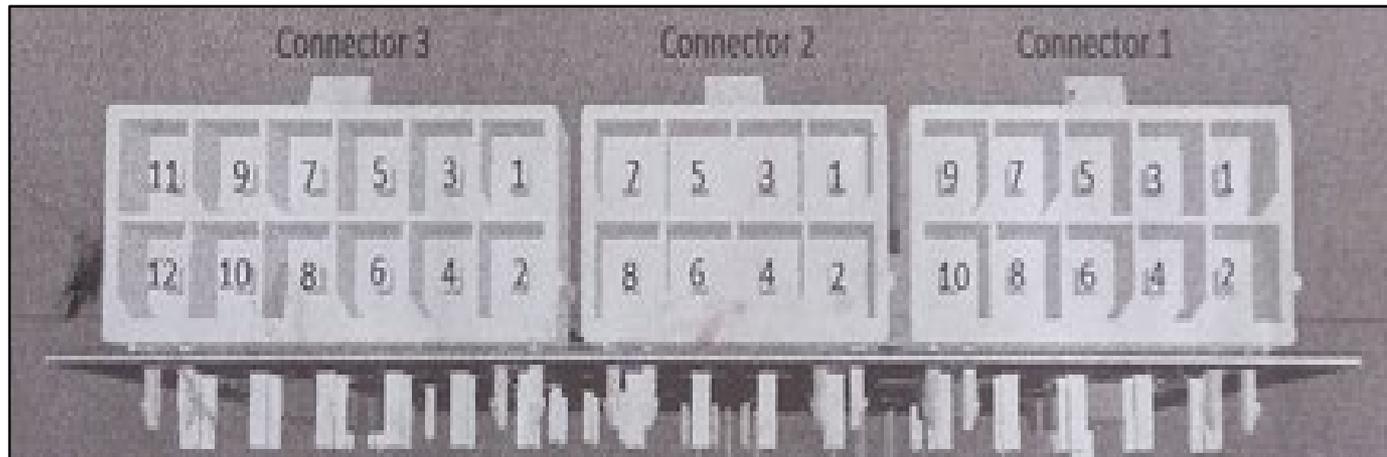


## Montaje de bobinas independientes



# Conexión megasquirt3

## Pin Out MS3



*Nota.* Numeración de pines MegaSquirt3 para la conexión de sensores, masas, voltajes y señales. (Sptronics)



## ***Pin Out MS3, Connector 1***

<b>Pin</b>	<b>Nombre</b>	<b>Código de Color</b>
1	Inyector 1 output	Marrón
2	Inyector 2 output	Marrón
3	Inyector 3 output	Marrón
4	Inyector 4 output	Marrón
5	Bomba de combustible output	Tomate
6	Señal baja de salida 1	Tomate
7	Salida complementaria 1	Tomate
8	Salida IAC 1	Tomate
9	Salida IAC 2	Tomate
10	GND	Negro

## ***Pin Out MS3, Connector 2***

<b>Pin</b>	<b>Nombre</b>	<b>Código de Color</b>
1	Salida para bobina 1	Verde
2	Salida para bobina 2	Verde
3	Salida para bobina 3	Verde
4	Salida para bobina 4	Verde
5	Salida tacómetro	Azul
6	Voltaje de referencia del sensor TPS (5V)	Rosa
7	Positivo <u>Switch</u> 12V	Rojo
8	GND	Negro

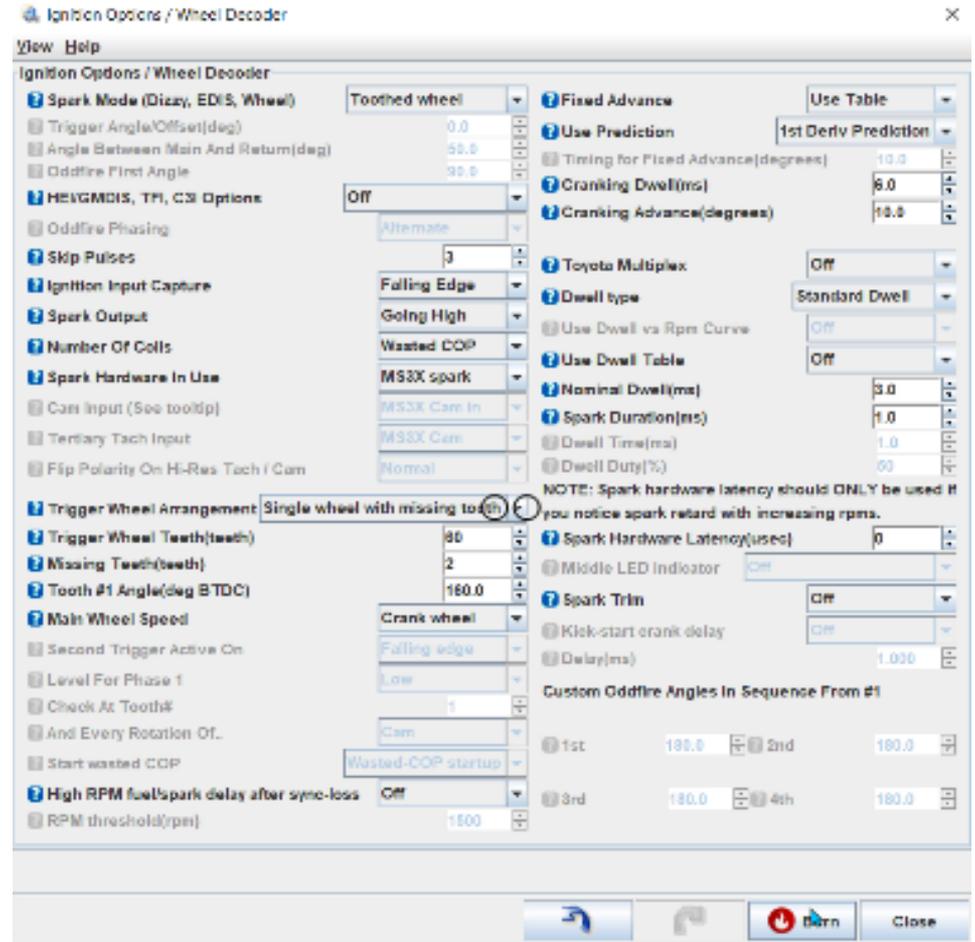


## Pin Out MS3, Connector 3

Pin	Nombre	Código de Color
1	Salida CKP positiva	Amarillo
2	Salida CKP negativa	Negro
3	Salida CMP positiva	Amarillo
4	Salida CMP negativa	Negro
5	Entrada MAP -MAF	Blanco
6	Referencia sensor de temperatura de aire (IAT)	Blanco
7	Referencia sensor de temperatura del refrigerante (ECT) input	Blanco
8	Referencia sensor de oxígeno O2 input	Blanco
9	Referencia sensor de posición de acelerador (TPS) input	Blanco
10	Referencia sensor de golpeteo input	Blanco
11	Limitador de rpm	Blanco
12	Salida doble mapa	Blanco



# Programación



Fuel VE Table 1

View Tools Help

100.0	89.7	89.1	87.6	87.0	81.2	80.6	77.1	72.9	69.4	65.9	64.7	61.8	60.4	59.0	58.3	56.9
98.0	87.9	87.3	85.9	85.3	79.6	79.1	75.7	71.7	68.2	64.8	63.7	60.7	59.4	58.0	57.3	55.9
95.0	85.2	84.7	83.3	82.8	77.4	76.8	73.6	69.8	66.5	63.2	62.2	59.1	57.8	56.5	55.8	54.5
90.0	80.8	80.3	79.0	78.5	73.1	72.5	69.3	65.5	62.2	58.9	57.9	54.8	53.5	52.2	51.5	50.2
85.0	76.3	75.8	74.7	74.2	68.8	68.2	65.0	61.2	57.9	54.6	53.6	50.5	49.2	47.9	47.2	45.9
80.0	71.8	71.4	70.4	69.9	64.5	63.9	60.7	56.9	53.6	50.3	49.3	46.2	44.9	43.6	42.9	41.6
75.0	67.3	67.0	66.1	65.6	60.2	59.6	56.4	52.6	49.3	46.0	45.0	41.9	40.6	39.3	38.6	37.3
70.0	62.9	62.5	61.8	61.3	55.9	55.3	52.1	48.3	45.0	41.7	40.7	37.6	36.3	35.0	34.3	33.0
65.0	58.4	58.1	57.4	56.9	51.5	50.9	47.7	43.9	40.6	37.3	36.3	33.2	31.9	30.6	29.9	28.6
60.0	53.9	53.7	53.1	52.6	47.2	46.6	43.4	39.6	36.3	33.0	32.0	28.9	27.6	26.3	25.6	24.3
55.0	49.4	49.3	48.8	48.3	42.9	42.3	39.1	35.3	32.0	28.7	27.7	24.6	23.3	22.0	21.3	20.0
50.0	45.0	44.8	44.5	44.0	38.6	38.0	34.8	31.0	27.7	24.4	23.4	20.3	19.0	17.7	17.0	15.7
45.0	40.5	40.4	40.2	39.7	34.3	33.7	30.5	26.7	23.4	20.1	19.1	16.0	14.7	13.4	12.7	11.4
40.0	36.9	34.5	32.4	31.3	31.2	32.5	38.8	37.6	36.7	35.7	35.3	34.7	34.4	34.0	33.9	33.5
35.0	34.5	28.9	29.3	25.7	26.6	27.6	36.8	35.8	35.0	34.2	33.9	33.4	33.1	32.9	32.7	32.5
30.1	32.7	33.4	32.9	33.0	33.5	34.3	34.8	34.1	33.4	32.8	32.6	32.1	31.9	31.7	31.6	31.4
rpm	950	1050	1300	1401	2400	2500	3100	3800	4400	5000	5200	5600	5800	6000	6100	6300

rpm

⏪ ⏩ 🔥 Burn ⌂ Close

User Parameter

Add To Cells

Increase Selected Cells by 10

OK Cancel

Fuel VE Table 1

View Tools Help

100.0	117.7	108.5	105.0	102.4	85.6	84.3	84.6	60.0	55.3	50.5	49.0	45.8	46.4	49.0	48.3	46.9
98.0	115.9	106.7	102.7	100.1	82.8	81.5	81.5	59.0	54.5	50.0	48.5	45.5	51.4	54.0	53.3	51.9
95.0	113.2	104.0	99.3	96.5	78.6	77.2	76.9	57.5	53.3	49.1	47.7	45.0	49.8	52.5	51.8	50.5
90.0	108.8	99.5	93.7	90.6	71.7	70.2	69.2	66.2	58.8	51.5	49.0	44.1	47.1	49.9	49.3	48.1
80.0	104.6	89.6	82.3	83.6	62.7	56.1	53.8	55.2	56.6	51.0	49.1	48.4	50.4	53.4	52.8	51.7
75.0	102.4	84.7	75.5	80.1	58.1	52.9	52.7	50.2	52.6	47.8	46.3	46.1	47.8	50.8	50.3	49.4
70.0	93.1	77.5	69.7	76.6	53.6	46.0	46.7	45.2	48.4	44.6	43.3	43.7	48.0	50.0	49.0	47.0
65.0	83.8	70.3	64.0	73.1	49.1	45.1	46.7	48.2	45.2	42.2	41.3	39.3	50.1	48.2	47.3	45.5
60.0	74.5	63.1	58.2	62.5	51.1	47.5	40.7	43.2	41.1	39.0	38.3	36.9	35.2	33.5	32.7	31.1
55.0	65.2	59.9	56.4	56.0	45.0	41.9	45.5	43.5	41.7	39.9	33.8	30.8	29.3	27.8	27.1	25.6
50.0	55.9	52.8	50.7	45.5	39.0	38.3	42.0	39.0	36.3	33.7	32.4	29.8	28.5	27.1	26.5	25.2
45.0	46.6	45.6	44.9	42.8	38.7	38.1	41.1	37.1	33.6	30.2	29.0	26.7	25.6	24.4	23.9	22.7
40.0	44.7	45.2	44.3	42.4	32.9	32.4	35.9	32.5	29.6	26.6	25.6	23.7	22.7	21.7	21.2	20.2
35.0	41.9	38.9	37.8	35.6	28.8	23.7	30.8	27.9	25.5	23.1	22.2	20.6	19.8	19.0	18.6	17.8
30.0	40.5	36.5	27.3	24.8	16.6	15.5	16.6	14.3	12.4	14.5	13.9	12.6	11.9	11.3	11.0	10.3
20.0	40.7	35.8	26.3	23.3	8.3	11.1	10.2	9.2	8.3	7.4	7.1	6.5	6.2	5.9	5.7	5.4
rpm	950	1100	1200	1401	2400	2500	3100	3800	4400	5000	5200	5600	5800	6000	6100	6300

rpm

⏪ ⏩ 🔥 Burn ⌂ Close

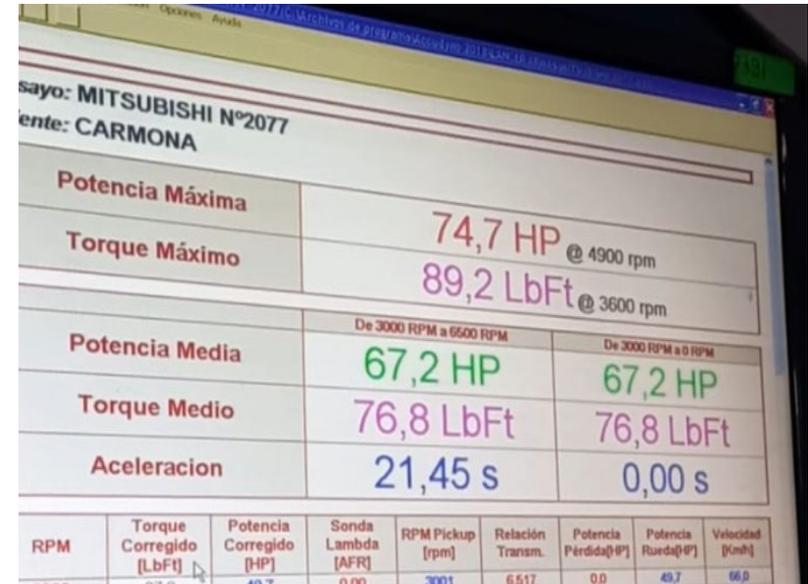
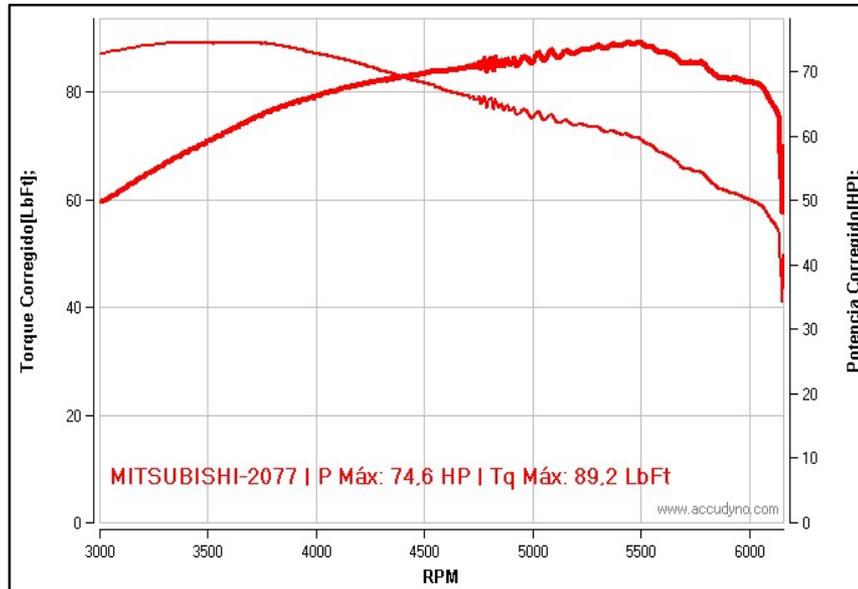


**ESPE**  
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Pruebas y comparación de resultados

## Pruebas antes de la investigación

### Prueba de potencia y torque en el dinamómetro



Nota. Los valores obtenidos en el dinamómetro indicaron que el motor 4G13 estándar tiene una potencia 74.7 H @4900 rpm y un torque de 89.2 Lb ft @ 3600 rpm.



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Emisión de gases contaminantes

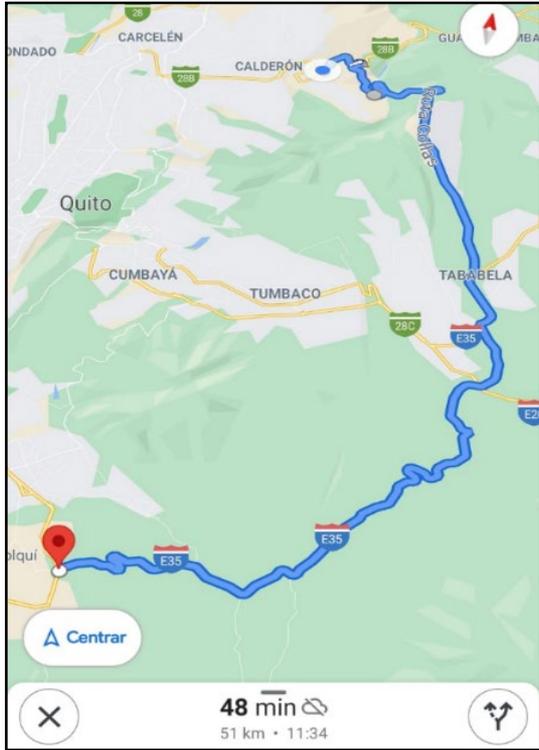


*Nota. Valores de los componentes químicos emitidos por el tubo de escapa, los valores mostrados están el porcentaje volumétrico y ppm.*



## Consumo de combustible

Ruta establecida en Google Maps



Nota. Recorrido establecido en la ciudad de Quito para determinar el consumo de combustible del motor 4G13 con sistema de alimentación por carburador.



$$\text{Consumo } 102 \text{ Km} = 2.17 \text{ gal}$$

$$\text{Valor por Km} = \frac{2.17 \text{ gal}}{102 \text{ km}}$$

$$\text{Valor por Km} = 0.0212 \frac{\text{gal}}{\text{km}}$$

$$\text{Consumo por Km} = 0.0212 \frac{\text{gal}}{\text{km}} * \frac{3.78 \text{ l}}{1 \text{ gal}}$$

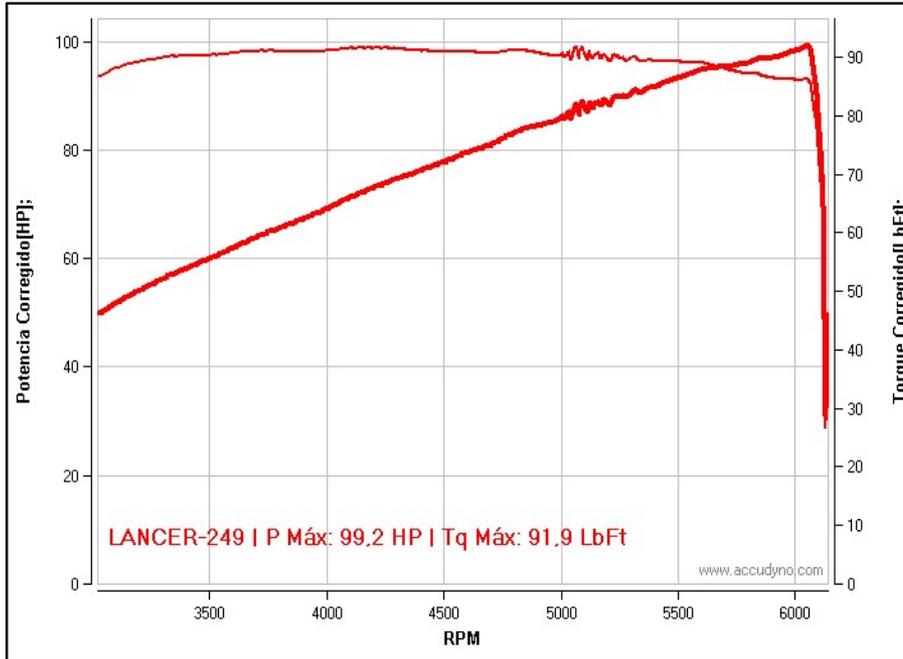
$$\text{Consumo por Km} = 0.080 \text{ litros}$$



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Pruebas con el sistema SFI implementado

## Pruebas de potencia y torque en el dinamómetro



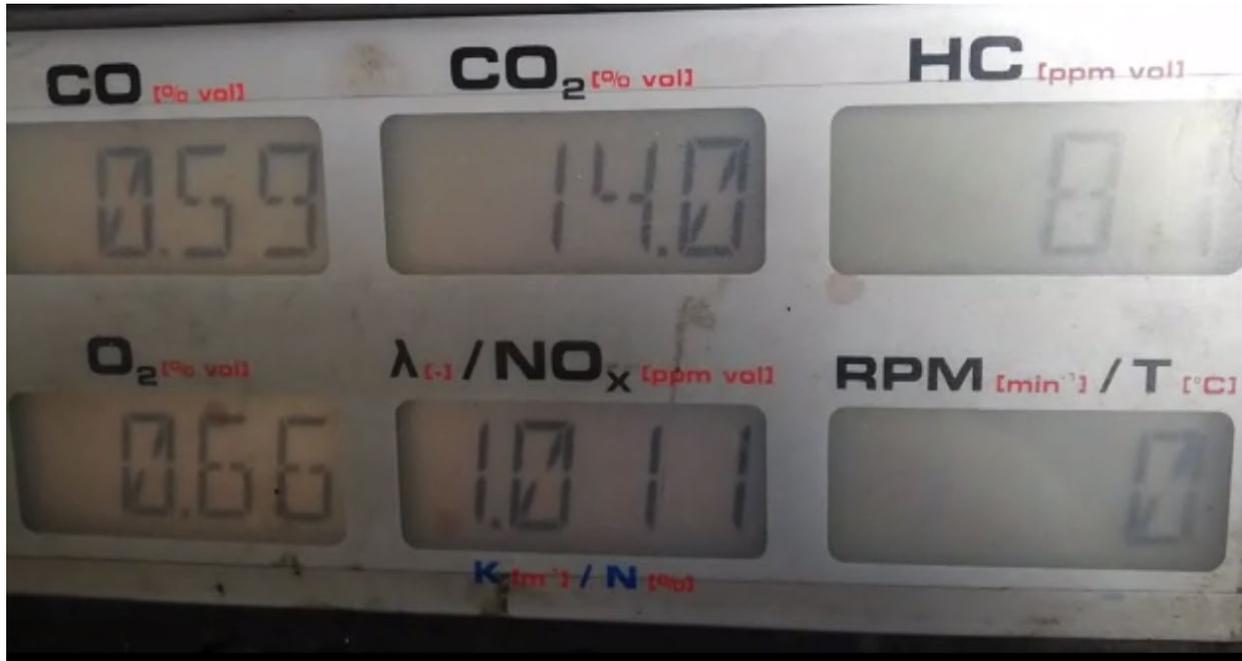
RPM	Torque 2 (Kg/m)	Torque 2 (Lb/ft)	Potencia 2 (HP)	Velocidad 2 (km/h)
3000	128,87	86,6	49,8	60,7
3100	130,96	88	51,7	62
3200	132,30	88,9	53,9	63,9
3300	133,64	89,8	56,2	66
3400	134,38	90,3	58,3	68,2
3500	134,23	90,2	60	70,1
3600	134,68	90,5	61,8	72
3700	135,72	91,2	64,2	74,2
3800	135,13	90,8	65,4	76
3900	135,42	91	67,5	78,3
4000	135,42	91	69,1	80,1
4100	136,02	91,4	71,1	82,1
4200	136,76	91,9	73,1	84,3
4300	136,17	91,5	74,5	86,1
4400	135,57	91,1	76,1	88,1
4500	135,57	91,1	76,1	88,1
4700	134,98	90,7	80,9	94,1
4900	135,13	90,8	84,5	98,2
5100	133,19	89,5	86,8	102,3
5300	135,13	90,8	91,5	105,3
5500	132,74	89,2	93,4	110,4
5700	131,11	88,1	95,6	114,4
5900	128,73	86,5	97,1	118,4
6000	128,28	86,2	99,2	120,4
6100	112,06	75,3	87,2	122,5

Nota. Los resultados obtenidos en la prueba dinamométrica, la potencia máxima es de 98.4 HP @ 6000 rpm y un torque máximo de 91.5 Lb ft @ 4200 rpm



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Emisión de gases contaminantes



*Nota. Valores de los componentes químicos emitidos por el tubo de escapa, los valores mostrados están el porcentaje volumétrico y ppm*



## Consumo de combustible



*Nota.* Valor de consumo de combustible en galones después del recorrido, valor en dólares gastado.

$$\text{Consumo } 102 \text{ Km} = 1.79 \text{ gal}$$

$$\text{Valor por Km} = \frac{1.79 \text{ gal}}{102 \text{ km}}$$

$$\text{Valor por Km} = 0.0175 \frac{\text{gal}}{\text{km}}$$

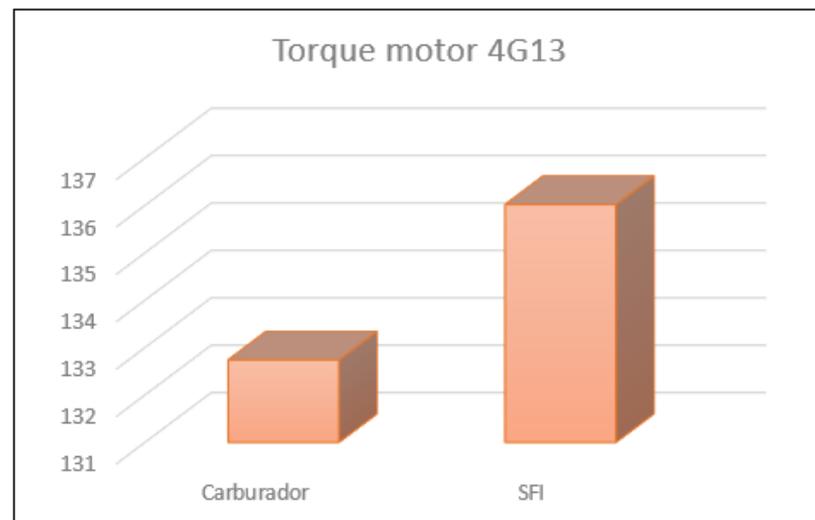
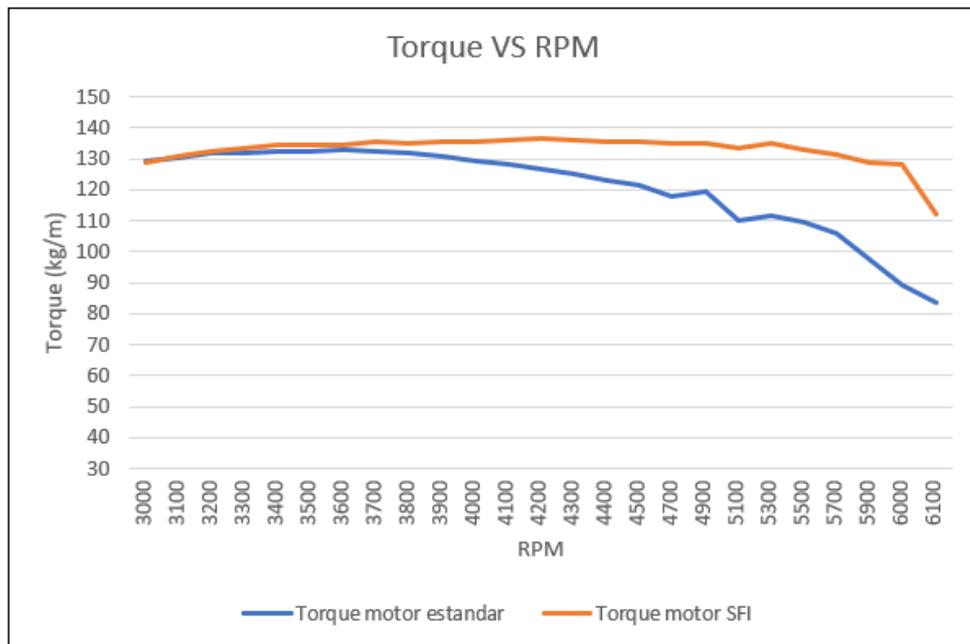
$$\text{Consumo por Km} = 0.0175 \frac{\text{gal}}{\text{km}} * \frac{3.78 \text{ l}}{1 \text{ gal}}$$

$$\text{Consumo por Km} = 0.066 \frac{\text{l}}{\text{km}}$$



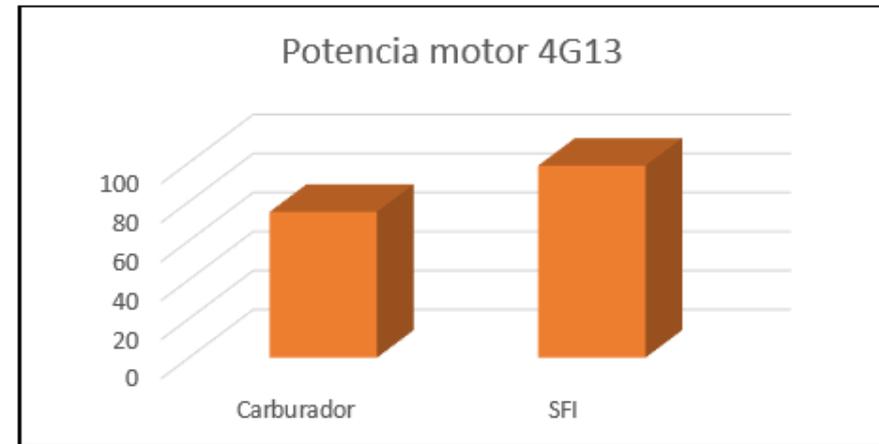
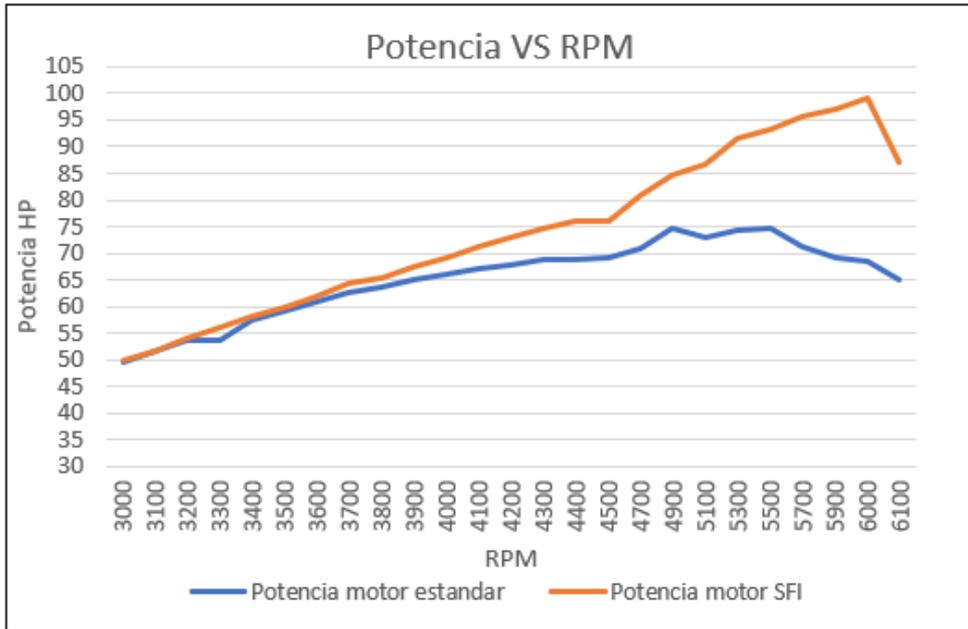
# Análisis de resultados

## Torque



*Nota.* Curvas de torque vs rpm del motor realizadas mediante los valores arrojados por el dinamómetro dando un aumento del 2.47%.

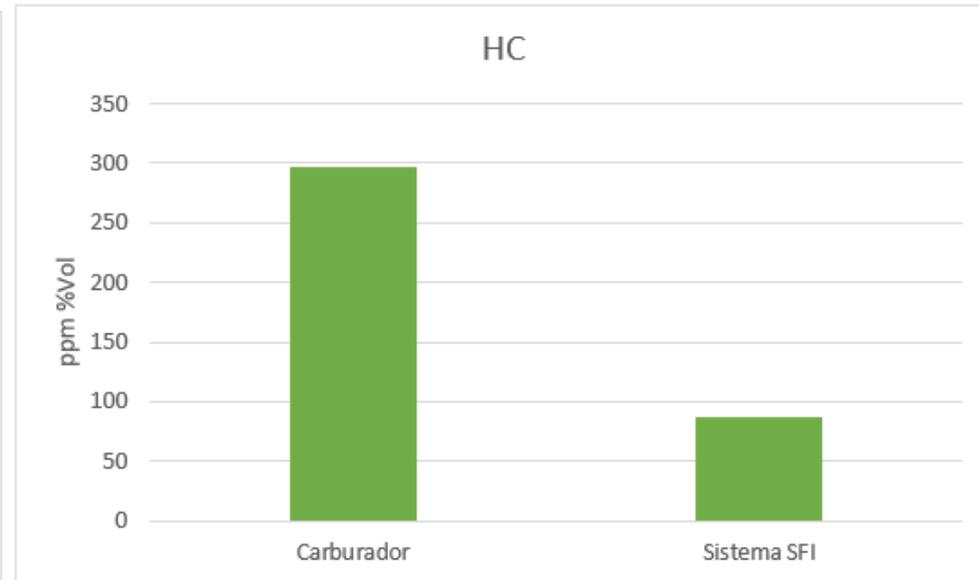
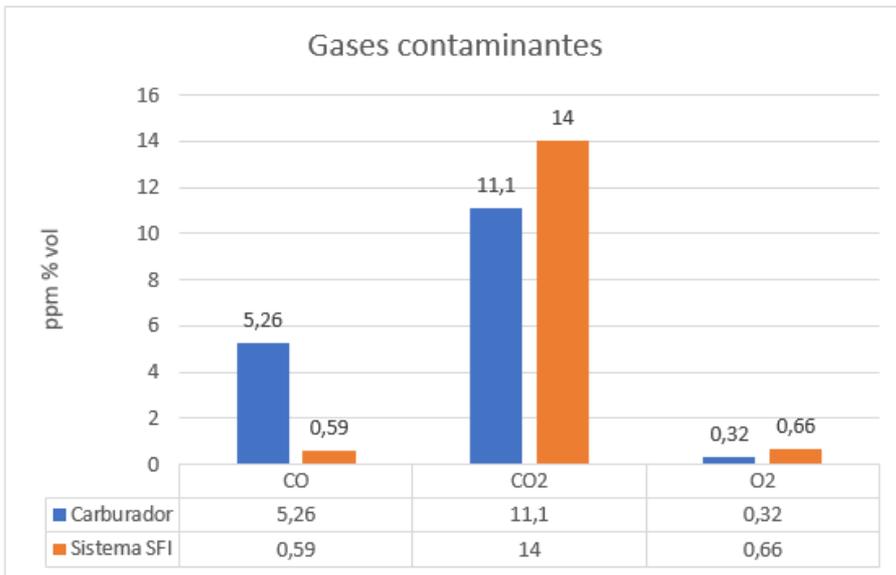
# Potencia



*Nota.* Diferencia del valor de potencia existente cuando el motor era alimentado con carburador vs alimentado con el sistema de inyección secuencial obteniendo un incremento del 31.73 %.



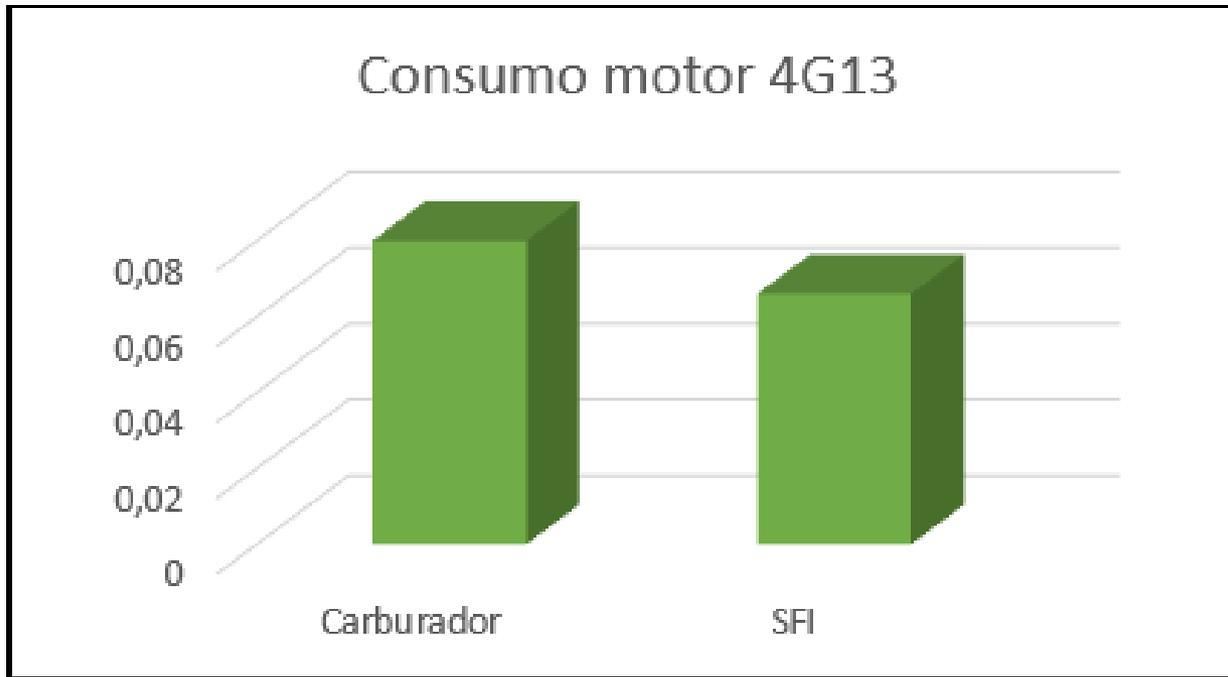
# Emisión de gases contaminantes



Nota. La reducción de hidrocarburos al implementar el sistema de inyección electrónica secuencial es de 70% menos gas contaminante perjudicial para el medio ambiente.



## Consumo de combustible



*Nota.* Diferencia en consumo cuando el motor era alimentado con carburador vs alimentado con el sistema de inyección secuencial ahorrando un 17.5 % de gasolina.



## Conclusiones

- Se concluyó el trabajo investigativo con éxito, alcanzando un incremento potencia, torque y disminución del consumo de combustible con la implementación del sistema de inyección electrónica secuencial en el motor 4G13.
- El motor 4G13 presenta disminución de sus parámetros en comparación de los valores encontrados en manuales, catálogos y fuentes electrónicas, donde facilito la selección de los sistemas eléctricos y mecánicos a ser implementados para restaurar la perdidas encontradas.
- En la simulación CAD de flujo volumétrico del nuevo múltiple de admisión, se concluye que el modelado a 45° inclinación presenta un incremento del 98% en la velocidad del aire y un 57% en el flujo másico y volumétrico a comparación de los modelados a 90° y 0° de inclinación siendo así la morfología del múltiple de admisión influye directamente en el rendimiento del motor.



- Los componentes electrónicos se seleccionaron acorde a las especificaciones del motor 4G13, y se implementó de acuerdo al Pin Out de la computadora programable MegaSquirt 3V.
- Se realizaron pruebas de compresión, estanquidad y fugas de corriente, concluyendo que el vehículo esta óptimas condiciones para la implementación del sistema de inyección electrónica independiente.
- La instalación del sistema eléctrico de la computadora conjuntamente con los sensores y actuadores se realizó de manera exitosa, la programación de la computadora se desarrolló mediante el mapeo de la eficiencia volumétrica, para ahorrar combustible sin perder potencia y torque del motor.



- Mediante equipos y herramientas de medición se observa el incremento de la potencia en 32%, torque 2.5%, reducción del consumo de combustible en 17.5% y reducción de gases contaminantes: CO 89.7% y HC 70%.
- El sistema de inyección electrónica secuencial SFI es más eficiente a comparación del carburador, eliminando problemas de encendido en frio, inestabilidad, etc del vehículo cuando usaba carburador.



## Recomendaciones

- Limpiar y dar mantenimiento preventivo al motor con la finalidad de tener un mejor ambiente de trabajo y evitar problemas mediante la implementación del nuevo sistema.
- Señalar adecuadamente el cableado de la computadora al momento de realizar el arnés.
- Fijar el distribuidor para la obtención de la señal del CMP, y así evitar interferencia en la obtención de señal ocasionando contra explosiones.
- Conectar los Pin Out de las bobinas de acuerdo al orden de encendido del vehículo.
- Elaborar una base rígida en el montaje del CKP, debido a las vibraciones del motor en funcionamiento el mismo puede moverse dando interferencias en la señal.



- Sujetar la rueda fónica mediante pernos a la polea del cigüeñal o si es compartida con el aire acondicionado sujetarla a él.
- Limpiar y pulir los bordes externos e internos del nuevo múltiple de admisión.
- Observar el estado físico de las llantas motrices antes de realizar la prueba del dinamómetro.
- Verificar el apriete de los empalmes o uniones realizados en el sistema eléctrico, para evitar que se aflojen a un futuro.
- Cubrir con manguera corrugada el nuevo arnés del sistema eléctrico y cubrirla con cinta de tela, a comparación del taípe esta no pierde ajuste con el calor.
- Cambiar la banda de distribución y así evitar en un corto tiempo desarmar nuevamente partes mecánicas del vehículo.

