



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA

ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: “ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA TÉRMICA APLICANDO
ANHÍDRIDO CARBÓNICO EN EL SISTEMA DE ADMISIÓN DEL
MOTOR SUZUKI G13”**

AUTORES: CHACÓN MOLINA, WILSON ADRIÁN

RAMOS REINOSO, EDWIN RICARDO

DIRECTOR: ING. QUIROZ ERAZO, LEONIDAS ANTONIO MSc.

LATACUNGA

2019



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA TÉRMICA APLICANDO ANHÍDRIDO CARBÓNICO EN EL SISTEMA DE ADMISIÓN DEL MOTOR SUZUKI G13” fue realizado por el señores: Chacón Molina, Wilson Adrián y Ramos Reinoso, Edwin Ricardo el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 25 de Noviembre del 2019

Ing. Quiroz Erazo, Leónidas Antonio MSc.

C.C.: 0502509995



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros , Chacón Molina, Wilson Adrián y Ramos Reinoso, Edwin Ricardo, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación **“ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA TÉRMICA APLICANDO ANHÍDRIDO CARBÓNICO EN EL SISTEMA DE ADMISIÓN DEL MOTOR SUZUKI G13”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo los requisitos teóricos, científicos, metodológicos y legales establecidos en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE respetando los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz

Latacunga, 25 de Noviembre del 2019



Chacón Molina, Wilson Adrián

C.C.: 0503807992



Ramos Reinoso, Edwin Ricardo

C.C.: 1804373650



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Chacón Molina, Wilson Adrián y Ramos Reinoso, Edwin Ricardo autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación “ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA TÉRMICA APLICANDO ANHÍDRIDO CARBÓNICO EN EL SISTEMA DE ADMISIÓN DEL MOTOR SUZUKI G13” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 25 de Noviembre del 2019

Chacón Molina, Wilson Adrián

C.C.: 0503807992

Ramos Reinoso, Edwin Ricardo

C.C.: 1804373650

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mi familia que jamás escatimo esfuerzo alguno para ayudarme desde el principio de mi formación académica. Wilson Chacón, Ana Molina un resultado más está aquí, por y para ustedes.

A Lis y Lesly, con su amor de hermanas siempre me apoyaron, dándome ánimos cuando más lo necesitaba y recordándome siempre a su manera, cuán importante es culminar con esta etapa de mis estudios.

A Ale, Quien desde su llegada ha aportado mucho en mi vida en innumerables aspectos, demostrándome que son más importantes las experiencias que puedes compartir con una persona, que el tiempo que lleves de conocerla.

A Los ingenieros Leónidas Quiroz, Alex Cevallos, los responsables de compartirme conocimientos, valores y lecciones de vida que siempre practicare profesional y personalmente.

A mis amigos Edwin, Julieta y Gabriela por haber sido parte de este periodo de aprendizaje, siempre supimos apoyarnos manteniendo la amistad por sobre asuntos académicos.

Adrián Chacón

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedico a mi madre por demostrarme que solo se necesita confiar en Dios para lograr cualquier objetivo, a mi esposa e hija Sol y Paula por ser mi complemento, en general a toda mi familia.

Edwin Ramos R.

AGRADECIMIENTO

Este texto se quedaría corto para expresar un agradecimiento puntual a todas y cada una de las personas que colaboraron de una u otra forma a que cumpla este objetivo de vida, sin embargo me permito hacer un resumen.

Dios Por guiarme y bendecirme con la excelente familia que poseo; Mis Padres quienes no me permitieron desfallecer, mis hermanas que siempre estuvieron ahí, mis Docentes siempre prestos a colaborarme en todo lo que se encontraba a su alcance con la mejor de las predisposiciones, amigos y compañeros de promoción cómplices de innumerables experiencias universitarias y lecciones de vida que llevare por siempre en mi corazón.

Adrián Chacón

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que colaboran en este proyecto, en especial a nuestros padres por el financiamiento, al Ing. Leónidas Quiroz por su condescendencia y a la institución por tan excelente formación.

Edwin Ramos R.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xxii
RESUMEN	xxiii
ABSTRACT	xxiv

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Descripción resumida del proyecto	5
1.4. Justificación e importancia	7
1.5. Objetivos de la investigación	8
1.5.1. Objetivo general	8
1.5.2. Objetivos específicos	8
1.6. Metas	9
1.7. Hipótesis	9
1.8. Variables de investigación	10
1.8.1. Variable independiente	10
1.8.2. Variable dependiente	10

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Anhídrido carbónico (CO₂)	11
2.1.1.	Propiedades	11
2.1.2.	Aplicaciones	11
2.1.3.	Precauciones.....	12
2.2.	Convección.....	12
2.2.1.	Convección Forzada.....	13
2.2.2.	Convección Natural.....	14
2.3.	Número de Reynolds.....	15
2.4.	Número de Nusselt.....	15
2.5.	Emisiones Contaminantes	16
2.5.1.	Dióxido de Carbono (CO₂)	16
2.5.2.	Monóxido de Carbono (CO)	16
2.5.3.	Hidrocarburos (HC)	17
2.5.4.	Óxidos de Nitrógeno (NO_x)	17
2.6.	Norma nacional de emisión de gases contaminantes NTE INEN 2 204:2002.....	17
2.7.	Componentes del sistema del intercambiador de calor	18
2.7.1.	Depósito de almacenamiento de (CO₂)	18
2.7.2.	Bulbo Metálico.....	19
2.7.3.	Encamisado Metálico	19
2.7.4.	Electroválvula de paso	20
2.7.5.	Conexiones rígidas	20
2.7.6.	Conexiones flexibles	21
2.8.	Componentes Electrónicos.....	22
2.8.1.	Microcontrolador ATmega 328P	22
2.8.2.	Pantalla LCD.....	22
2.8.3.	Regulador de Tensión	23
2.8.4.	Diodo.....	23
2.8.5.	Transistor	23
2.8.6.	Resistencia	24
2.8.7.	Ley de Ohm.....	24
2.9.	Equipos de Diagnostico	25

	x
2.9.1. Analizador de gases de escape	25
2.9.2. Cámara termográfica.....	25
2.10. Regresión lineal múltiple	26
2.10.1. Estimación por reducción a mínimos cuadrados.....	27
2.10.2. Interpretación geométrica	279
2.10.3. Estimación.....	279

CAPÍTULO III

SISTEMA DE INYECCIÓN DE ANHÍDRIDO CARBÓNICO

3.1. Instalación del sistema de inyección de anhídrido carbónico CRYO2	30
3.1.1. Instalación del depósito de anhídrido carbónico.....	30
3.1.2. Instalación del bulbo enfriador del aire de admisión	32
3.1.3. Instalación tubo encamisado para combustible.....	34
3.1.4. Instalación cañería para la ventilación de anhídrido carbónico	34
3.2. Transferencia de calor	35
3.2.1. Razón de transferencia de calor en la admisión.....	35
3.2.2. Cálculo de la razón de transferencia de calor entre el combustible y el encamisado de tubos	38
3.3. Modelo Matemático	40
3.3.1. Potencia.....	40
3.3.2. Torque	43
3.4. Diseño del control electrónico	45
3.4.1. Diseño del control electrónico	46
3.4.2. Régimen de giro del motor (RPM)	47
3.4.3. Temperatura del líquido refrigerante	51
3.5. Programación del microcontrolador en lenguaje C++	54
3.5.1. Interface gráfica mediante display LCD 16X2	54
3.5.2. Muestreo de señal analógica (Temperatura del líquido refrigerante)	55
3.5.3. Muestreo de señal digital (Régimen de giro del motor).....	56
3.5.4. Modo Automático	57
3.5.5. Modo Manual.....	58

CAPÍTULO IV

SISTEMA DE INYECCIÓN DE ANHÍDRIDO CARBÓNICO

4.1.	Medición de Temperatura	59
4.1.1.	Manipulación y ajuste del Equipo.....	59
4.1.2.	Procedimiento de toma de datos termográficos	60
4.2.	Emisiones de gases Contaminantes.....	61
4.2.1.	Manipulación y ajuste del Equipo.....	61
4.2.2.	Procedimiento de prueba de emisiones de gases contaminantes	62
a.	Test oficial.....	62
b.	Prueba Continua	64
4.3.	Torque y Potencia	65
4.3.1.	Manipulación y Ajuste del Equipo.....	65
4.3.2.	Procedimiento para la Prueba de Torque y Potencia	66
4.4.	Condiciones de seguridad del entorno	68
4.4.1.	Seguridad de los operarios	68
4.4.2.	Lugar de Trabajo	68
4.4.3.	Meteorológicas.....	68
4.5.	Adecuación del vehículo previo a las pruebas	69
4.5.1.	Termográficas	69
4.5.2.	Emisiones	69
4.5.3.	Torque y Potencia	70
4.6.	Tabulación de datos en condiciones estándar el motor.....	70
4.6.1.	Imágenes Termográficas	70
4.6.2.	Emisiones de Gases de escape	78
a.	Test Oficial.....	78
b.	Prueba Continua.....	78
4.6.3.	Torque y Potencia	89
4.7.	Inyección de Anhídrido Carbónico	91
4.8.	Tabulación de datos Inyectando Anhídrido Carbónico en la admisión y entrada de combustible del motor Suzuki G13	92
4.8.1.	Temperaturas.....	92
a.	Inyección de anhídrido Carbónico de 5 segundos	92
b.	Inyección de anhídrido Carbónico de 10 segundos	97

c.	Inyección de anhídrido Carbónico de 15 segundos	102
d.	Inyección de anhídrido Carbónico de 20 segundos	108
4.8.2.	Emisiones de gases de Escape	115
a.	Inyección de anhídrido Carbónico de 5 segundos	115
b.	Inyección de anhídrido Carbónico de 10 segundos	121
c.	Inyección de anhídrido Carbónico de 15 segundos	125
d.	Inyección de Anhídrido Carbónico de 20 segundos	130
4.8.3.	Torque y Potencia	135
4.9.	Comparación y Análisis de resultados.	136
4.9.1.	Termográficos	136
a.	Reservorio de CO ₂	137
b.	Salida de reservorio de CO ₂	137
c.	Entrada a bulbo metálico.....	138
d.	Solenoide.....	139
e.	Bulbo Metálico.....	139
f.	Entrada al Carburador	140
g.	Salida del Bulbo Metálico.....	141
h.	Entrada a Encamisado	141
i.	Salida de Encamisado	142
4.9.2.	Emisiones	143
a.	Monóxido de Carbono	143
b.	Dióxido de Carbono	144
c.	Oxígenos	145
d.	Hidrocarburos.....	145
e.	Óxidos de Nitrógeno	146
f.	Lambda.....	147
4.9.3.	Torque y Potencia	147

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

5.1.	Factibilidad del Proyecto	149
5.1.1.	Recurso Humano	149
5.1.2.	Recursos Materiales	150

	xiii
5.1.3. Recursos Financiero	150
a. Materiales y Equipos.....	151
b. Recursos Tecnológicos	152
CONCLUSIONES.....	153
RECOMENDACIONES.....	155
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Operacionalización de la variable independiente</i>	10
Tabla 2. <i>Operacionalización de la variable dependiente</i>	10
Tabla 3. <i>Propiedades del CO2</i>	11
Tabla 4. <i>Límites máximos de emisiones para vehículos con motor a gasolina</i>	18
Tabla 5. <i>Unidades de medición AGS-688</i>	25
Tabla 6 <i>Características depósito CO2</i>	31
Tabla 7. <i>Características cañería flexible</i>	32
Tabla 8. <i>Cálculo de transferencia de calor</i>	37
Tabla 9. <i>Toma de Datos</i>	39
Tabla 10. <i>Correlación de variables independientes</i>	41
Tabla 11. <i>Coefficiente de determinación</i>	42
Tabla 12. <i>Correlación variables independientes</i>	43
Tabla 13. <i>Coefficiente de correlación</i>	44
Tabla 14. <i>Tabla de intensidades</i>	47
Tabla 15. <i>Valores de componentes para divisor de tensión</i>	48
Tabla 16. <i>Valores de componentes para filtro paso bajo</i>	49
Tabla 17. <i>Relación del régimen de giro del motor con el periodo</i>	50
Tabla 18. <i>Valores de componentes para el divisor de tensión</i>	52
Tabla 19. <i>Relación de la temperatura del motor con el voltaje medido</i>	53
Tabla 20. <i>Código para la interface gráfica</i>	55
Tabla 21. <i>Código para la adquisición de la señal de temperatura del líquido refrigerante</i> ..	55
Tabla 22. <i>Código para la adquisición de la señal de régimen de giro del motor</i>	56
Tabla 23. <i>Código para el funcionamiento del modo Automático</i>	57
Tabla 24. <i>Toma de Temperaturas en condiciones estándar del motor</i>	71
Tabla 25. <i>Prueba Continua 1 de emisiones de gases de escape en condiciones estándar</i>	79
Tabla 26. <i>Prueba Continua 2 de emisiones de gases de escape en condiciones estándar</i>	81
Tabla 27. <i>Prueba Continua 3 de emisiones de gases de escape en condiciones estándar</i>	84
Tabla 28. <i>Prueba Continua 3 de emisiones de gases de escape en condiciones estándar</i>	87
Tabla 29. <i>Tiempo de inyección de anhídrido carbónico en admisión y entrada de combustible</i>	91

Tabla 30. <i>Tiempo de descanso de anhídrido carbónico en admisión y entrada de combustible</i>	91
Tabla 31. <i>Inyección de anhídrido carbónico de 5 segundos (descanso 1 minuto)</i>	92
Tabla 32. <i>Inyección de anhídrido carbónico de 10 segundos (descanso 2 minutos)</i>	97
Tabla 33. <i>Inyección de anhídrido carbónico de 15 segundos (descanso 3 minutos)</i>	103
Tabla 34. <i>Inyección de anhídrido carbónico de 20 segundos (descanso 4 minutos)</i>	109
Tabla 35. <i>Inyección de Anhídrido Carbónico de 5 segundos con descanso de 1 minuto.</i>	115
Tabla 36. <i>Inyección de anhídrido carbónico de 10 segundos (descanso 2 minutos)</i>	121
Tabla 37. <i>Inyección de Anhídrido Carbónico de 15 segundos con descanso de 3 minutos.</i> ..	126
Tabla 38. <i>Inyección de Anhídrido Carbónico de 20 segundos con descanso de 4 minutos.</i> ..	131
Tabla 39. <i>Comparación de temperaturas en condiciones estándar y posterior a la inyección de anhídrido carbónico.</i>	136
Tabla 40. <i>Emisiones de gases de escape en condiciones estándar y posterior a la inyección de anhídrido carbónico.</i>	143
Tabla 41. <i>Talento Humano</i>	150
Tabla 42. <i>Recursos Materiales</i>	150
Tabla 43. <i>Implementación del sistema de inyección de Anhídrido Carbónico</i>	151
Tabla 44. <i>Implementación del módulo electrónico de control</i>	151
Tabla 45. <i>Tratamiento del Anhídrido Carbónico</i>	151
Tabla 46. <i>Recursos Tecnológicos</i>	152
Tabla 47. <i>Equipos Tecnológicos</i>	152

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Árbol de problemas.....	4
<i>Figura 2.</i> Transferencia de calor por convección	13
<i>Figura 3.</i> Flujo laminar o turbulento	14
<i>Figura 4.</i> Concepto de convección natural	14
<i>Figura 5.</i> Depósito de CO ₂	18
<i>Figura 6.</i> Bulbo metálico.....	19
<i>Figura 7.</i> Encamisado metálico	19
<i>Figura 8.</i> Electroválvula de paso	20
<i>Figura 9.</i> Conexión NPT	20
<i>Figura 10.</i> Conexión AN.....	21
<i>Figura 11.</i> Cañería flexible INOX.....	21
<i>Figura 12.</i> Disposición de pines ATmega328P.....	22
<i>Figura 13.</i> Pantalla LCD de 16x2.....	23
<i>Figura 14.</i> Analizador de Gases Brain Bee AGS-688.....	25
<i>Figura 15.</i> Cámara termográfica	26
<i>Figura 16.</i> Interpretación geométrica mínimos cuadrados	28
<i>Figura 17.</i> Depósito CO ₂	30
<i>Figura 18.</i> Cañería con revestimiento	31
<i>Figura 19.</i> Esquema neumático	32
<i>Figura 20.</i> Comparación pérdida aerodinámica entre objeto aerodinámico y esfera.....	33
<i>Figura 21.</i> Bulbo y Base Metálica.....	33
<i>Figura 22.</i> Encamisado y Base Metálica	34
<i>Figura 23.</i> Cañería de ventilación	35
<i>Figura 24.</i> Anemómetro	36
<i>Figura 25.</i> Medición Termográfica bulbo metálico.	36
<i>Figura 26.</i> Simulación de transferencia de calor.....	37
<i>Figura 27.</i> Medición termográfica enfriador combustible	38
<i>Figura 28.</i> Prueba de Caudal Bomba de Combustible	39
<i>Figura 29.</i> Simulación de transferencia de calor enfriador de combustible.....	40
<i>Figura 30.</i> Potencia del Banco.	43

Figura 31. Torque del banco.	45
Figura 32. Esquema de bloques del sistema de control.	46
Figura 33. Oscilograma señal de encendido.	48
Figura 34. Punto de toma de señal	48
Figura 35. Esquema filtro paso bajo.	49
Figura 36. Comparación señal antes y después del procesamiento.	50
Figura 37. Curva de tendencia de la señal de encendido.	50
Figura 38. Oscilograma señal temperatura refrigerante.	51
Figura 39. Punto de toma de señal	52
Figura 40. Esquemático divisor de tensión.	53
Figura 41. Curva de tendencia de la señal de temperatura.....	53
Figura 42. Diagrama de flujo programación..	54
Figura 43. Funcionamiento del circuito en modo automático.....	57
Figura 44. Funcionamiento modo manual	58
Figura 45. Puntos de Análisis Termográficos	61
Figura 46. Menú Principal.....	62
Figura 47. Ingreso de datos del vehículo	63
Figura 48. Límites permisibles.....	63
Figura 49. Test de HC Residual y prueba de temperatura	64
Figura 50. Medición en Test Oficial	64
Figura 51. Continua.....	65
Figura 52. Valores en Prueba Continua	65
Figura 53. Medición del diámetro de las ruedas motrices.	66
Figura 54. Inserción de la Sonda al tubo de escape del vehículo.....	67
Figura 55. Temperaturas en el reservorio de CO2 (Condiciones Estándar)	72
Figura 56. Temperaturas a la salida del reservorio de CO2 (Condiciones estándar).....	73
Figura 57. Temperaturas a la entrada del bulbo metálico (condiciones estándar).....	73
Figura 58. Temperaturas en el solenoide (Condiciones estándar)	74
Figura 59. Temperaturas en el bulbo metálico (Condiciones estándar).....	75
Figura 60. Temperaturas a la entrada del carburador (Condiciones estandar).....	75
Figura 61. Temperaturas a la Salida del bulbo metálico (Condiciones estándar).....	76
Figura 62. Temperaturas a la entrada del encamisado metálico (Condiciones estandar)	77
Figura 63. Temperaturas en la salida del encamisado metálico (Condiciones estándar).....	77

Figura 64. Test Oficial al vehículo Suzuki Samurai motor G13.....	78
Figura 65. Emisiones de gases de escape en % de Volumen (condiciones estándar).....	79
Figura 66. Emisiones de gases de Escape en PPM de Volumen (Condiciones Estándar).....	80
Figura 67. Valores de Lambda en Condiciones Estándar	80
Figura 68. Emisiones de gases de escape en % de Volumen (condiciones estándar).....	81
Figura 69. Emisiones de gases de escape en % de Volumen (condiciones estándar).....	82
Figura 70. Valores de Lambda en Condiciones Estándar	82
Figura 71. Emisiones de gases de escape en % de Volumen (condiciones estándar).....	85
Figura 72. Emisiones de gases de escape en % de Volumen (condiciones estándar).....	86
Figura 73. Valores de Lambda en Condiciones Estándar	86
Figura 74. Emisiones de gases de escape en % de Volumen (condiciones estándar).....	88
Figura 75. Emisiones de gases de escape en % de Volumen (condiciones estándar).....	89
Figura 76. Valores de Lambda en Condiciones Estándar	89
Figura 77. Torque y potencia del motor Suzuki G13 generados a condiciones estándar de funcionamiento.....	90
Figura 78. Temperatura del reservorio de CO2 tras la inyección 5 segundos	93
Figura 79. Temperatura a la salida del Reservorio de CO2 tras la inyección de 5 segundos .	93
Figura 80. Temperatura s la entrada del bulbo metálico tras la inyección de 5 segundos	94
Figura 81. Temperatura en el solenoide tras la inyección de 5 segundos	94
Figura 82. Temperatura en el bulbo metálico tras la inyección de 5 segundos	95
Figura 83. Temperatura a la entrada del carburador tras la inyección de 5 segundos	95
Figura 84. Temperatura a la salida del bulbo metálico tras la inyección de 5 segundos	96
Figura 85. Temperatura a la entrada del encamisado tras la inyección de 5 segundos.....	96
Figura 86. Temperatura a la salida del encamisado tras la inyección de 5 segundos	97
Figura 87. Temperatura en el reservorio de CO2 tras la inyección de 10 segundos.....	98
Figura 88. Temperatura a la salida del reservorio de CO2 tras la inyección de 10 segundos.	98
Figura 89. Temperatura a la entrada del bulbo metálico tras la inyección de 10 segundos....	99
Figura 90. Temperatura en el solenoide tras la inyección de 10 segundos	99
Figura 91. Temperatura en el bulbo metálico tras la inyección de 10 segundos	100
Figura 92. Temperatura a la entrada del carburador tras la inyección de 10 segundos	100
Figura 93. Temperatura a la salida del bulbo metálico tras la inyección de 10 segundos	101
Figura 94. Temperatura a la entrada del encamisado tras la inyección de 10 segundos.....	101
Figura 95. Temperatura a la salida del encamisado tras la inyección de 10 segundos	102

Figura 96. Temperatura en el reservorio de CO2 tras la inyección de 15 segundos.....	104
Figura 97. Temperatura a la salida de reservorio de CO2 tras la inyección de 15 segundos	104
Figura 98. Temperatura a la entrada del bulbo metalito tras 15 segundos de inyección	105
Figura 99. Temperatura en el solenoide tras la inyección de 15 segundos	105
Figura 100. Temperatura en el bulbo metálico tras la inyección de 15 segundos	106
Figura 101. Temperatura a la entrada del carburador tras la inyección de 15 segundos	106
Figura 102. Temperatura a la salida del bulbo metálico tras la inyección de 15 segundos ..	107
Figura 103. Temperatura a la entrada del encamisado tras la inyección de 15 segundos.....	107
Figura 104. Temperatura a la salida de encamisado tras la inyección de 15 segundos	108
Figura 105. Temperatura en el reservorio de CO2 tras la inyección de 20 segundos.....	110
Figura 106. Temperatura a la salida del reservorio de CO2 tras la inyección de 20 segundos.....	110
Figura 107. Temperatura a la entrada del bulbo metálico tras la inyección de 20 segundos	111
Figura 108. Temperatura en el solenoide tras la inyección de 20 segundos	112
Figura 109. Temperatura en el bulbo metálico tras la inyección de 20 segundos	112
Figura 110. Temperatura a la entrada del carburador tras la inyección de 20 segundos	113
Figura 111. Temperatura a la salida del bulbo metálico tras la inyección de 20 segundos ..	113
Figura 112. Temperatura a la entrada del encamisado tras la inyección de 20 segundos.....	114
Figura 113. Temperatura a la salida del encamisado tras la inyección de 20 segundos	114
Figura 114. Oxido de Carbono al inyectar anhídrido carbónico 5 segundos (descanso 1 minuto).....	118
Figura 115. Dióxido de Carbono al inyectar anhídrido Carbónico 5 segundos (descanso 1 minuto).....	119
Figura 116. Oxígeno al inyectar anhídrido carbónico 5 segundos (descanso 1 minuto)	119
Figura 117. Hidrocarburos al inyectar anhídrido carbónico 5 segundos (descanso 1 minuto).....	120
Figura 118. Óxido de Nitrógeno al inyectar anhídrido carbónico 5 segundos (descanso 1 minuto)	120
Figura 119. Lambda al inyectar anhídrido carbónico 5 segundos (descanso 1 minuto).....	121
Figura 120. Óxido de Carbono al inyectar anhídrido carbónico 10 segundos (descanso 2 minutos)	123
Figura 121. Dióxido de Carbono al inyectar anhídrido carbónico 10 segundos (descanso 2 minutos).....	123

Figura 122. Oxígeno al inyectar anhídrido carbónico 10 segundos (descanso 2 minutos)...	124
Figura 123. Hidrocarburos al inyectar anhídrido carbónico 10 segundos (descanso 2 minutos)	124
Figura 124. Óxido de Nitrógeno al inyectar anhídrido carbónico 10 segundos (descanso 2 minutos)	125
Figura 125. Lambda al inyectar anhídrido carbónico 10 segundos (descanso 2 minutos) ...	125
Figura 126. Oxido de Carbono al inyectar anhídrido carbónico 15 segundos (descanso 3 minutos)	128
Figura 127. Dióxido de Carbono al inyectar anhídrido carbónico 15 segundos (descanso 3 minutos).....	128
Figura 128. Oxígeno al inyectar anhídrido carbónico 15 segundos (descanso 3 minutos)...	129
Figura 129. Hidrocarburos al inyectar anhídrido carbónico 15 segundos (descanso 3 minutos)	129
Figura 130. Óxido de Nitrógeno al inyectar anhídrido carbónico 15 segundos (descanso 3 minutos).....	130
Figura 131. Lambda al inyectar anhídrido carbónico 15 segundos (descanso 3 minutos) ...	130
Figura 132. Oxido de Carbono al inyectar anhídrido carbónico 20 segundos (descanso 4 minutos)	132
Figura 133. Dióxido de Carbono al inyectar anhídrido carbónico 20 segundos (descanso 4 minutos).....	132
Figura 134. Oxígeno al inyectar anhídrido carbónico 20 segundos (descanso 4 minutos)...	133
Figura 135. Hidrocarburos al inyectar anhídrido carbónico 20 segundos (descanso 4 minutos)	133
Figura 136. Óxido de Nitrógeno al inyectar anhídrido carbónico 20 segundos (descanso 4 minutos).....	134
Figura 137. Lambda al inyectar anhídrido carbónico 20 segundos (descanso 4 minutos) ...	134
Figura 138. Torque y potencia del motor Suzuki G13 generados al inyectar CO2 por 20 segundos.....	135
Figura 139. Comparación de Temperaturas Reservorio CO2.....	137
Figura 140. Comparación de temperaturas Salida de Reservorio de CO2.....	138
Figura 141. Comparación de Temperaturas en la Entrada del Bulto Metálico	138
Figura 142. Comparación de Temperaturas en el Solenoide	139
Figura 143. Comparación de Temperaturas en el Bulbo Metálico	140

Figura 144. Comparación de Temperaturas en la Entrada al Carburador.....	140
Figura 145. Comparación de Temperatura a la Salida del Bulbo Metálico	141
Figura 146. Comparación de Temperaturas a la Entrada del Encamisado	142
Figura 147. Comparación de Temperaturas a la Salida del Encamisado	142
Figura 148. Comparación Monóxido de Carbono.....	144
Figura 149. Comparación Dióxido de Carbono	144
Figura 150. Comparación Oxígeno	145
Figura 151. Comparación Hidrocarburos.....	146
Figura 152. Comparación Óxido de Nitrógeno.....	146
Figura 153. Comparación factor LAMBDA	147
Figura 154. Comparación Prueba de Torque y Potencia.....	148

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1.</i> Tasa de transferencia de calor por convección.....	12
<i>Ecuación 2.</i> Ecuación número de Reynolds	15
<i>Ecuación 3.</i> Número de Nusselt	15
<i>Ecuación 4.</i> Ley de Ohm	24
<i>Ecuación 5.</i> Estimación mínimos cuadrados	29
<i>Ecuación 6.</i> Estimador MCO.....	29
<i>Ecuación 7.</i> Estimador MCO forma matricial.....	29
<i>Ecuación 8.</i> Potencia en función de gases de escape	42
<i>Ecuación 9.</i> Torque en función de gases de escape.....	44

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se investigó la incidencia del uso de anhídrido carbónico (CO_2) en el sistema de admisión de aire y de combustible del motor G13B mediante la implementación de intercambiadores de calor por convección para el análisis e incidencia de los parámetros característicos de potencia, torque y emisiones en el vehículo de prueba, mediante un sistema de control electrónico de una electroválvula en intervalos de tiempos de acuerdo a las necesidades térmicas del motor con señales de temperatura y régimen de giro programados para trabajar de forma manual o automática. Se realizó prueba de potencia del motor a partir de la norma SAE J2723 como método de corrección en relación a la altitud en un dinamómetro de rodillos y emisiones con el analizador de gases AGS 688 con ensayos de prueba continuo y test oficial considerando los valores permisibles en cuanto a niveles de emisiones para fuentes móviles según la NTE INEN 2 204. Mediante la cámara termográfica TIS- 60 se determinó la incidencia térmica de la inyección anhídrido carbónico en el sistema de admisión de aire y de combustible; a partir de los resultados obtenidos se analizó estadísticamente mediante una regresión lineal múltiple usando el método de reducción de mínimos cuadrados generando un modelo matemático que determinó el incremento de torque y potencia; así como la reducción de emisiones de monóxido de carbono y óxidos nitrosos.

PALABRAS CLAVE:

- **ANHÍDRIDO CARBÓNICO**
- **TERMOGRAFÍA**
- **MONÓXIDO DE CARBONO**
- **MÓDULO DE CONTROL ELECTRÓNICO**

ABSTRACT

In the present degree research the incidence of carbon dioxide (CO₂) use in the air and fuel intake system of the G13B engine was investigated through the implementation of convection heat exchangers for the analysis and incidence of the characteristic power parameters , torque and emissions in the test vehicle, by means of an electronic control system of a solenoid valve in time slots according to the thermal needs of the engine with temperature and speed engine signals programmed to work manually or automatically. Engine power test was performed from SAE J2723 standard as a correction method by comparison to the altitude in a roller dynamometer and emissions with the AGS 688 gas analyzer with continuous tests and official test considering the permissible values in terms of emission levels for mobile sources according to NTE INEN 2 204. The thermal incidence of carbon dioxide injection in the air and fuel intake system was determined by means of the TIS-60 thermal camera; Based on the acquired results, it was statistically analyzed through multiple linear regression using the method of least squares reduction, generating a mathematical model that determined the increase in torque and power; as well as the reduction of carbon monoxide and nitrous oxides emissions.

KEYWORDS:

- **CARBON ANHYDRIDE**
- **THERMOGRAPHY**
- **CARBON MONOXIDE**
- **ELECTRONIC CONTROL MODULE**

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

En el campo automotriz fue necesario realizar nuevas indagaciones que aporten con información útil enfocada a la solución de problemas y mejora de los componentes de sistemas automotrices.

Los motores de combustión interna de encendido por chispa con alimentación por carburador funcionan hasta la actualidad desde su invención, encontrando en nuestro entorno un porcentaje considerable del parque automotor que funcione con este sistema, haciéndose evidente la necesidad de desarrollar nuevas innovaciones que ayuden a mejorar las prestaciones de este tipo de motores. Debido a las exigentes normas de emisiones los diseñadores buscan la mayor eficiencia en la construcción de vehículos de tal forma que se aproveche la energía calorífica almacenada en el combustible a utilizar.

El 39.85% del parque automotor de la provincia de Cotopaxi corresponde a modelos de vehículos anteriores al 2003 hasta el año en mención (INEC, 2014, pág. 66)

(Nik, et al., 2014) señalan: “el mecanismo de Zeldovich explica que la formación de NOx es directamente proporcional a la presión y temperatura máxima del proceso de combustión” (p. 957).

(Cortés Marín, Álvarez Mejía, & González Sánchez, 2007) afirman: “el incremento máximo de aire en la entrada de filtro de aire con respecto a la temperatura ambiente debe de revisarse en la curva de desempeño del motor en cuestión, generalmente no debe ser mayor a 8 °C”. (p. 286).

El análisis termográfico presenta una gran ventaja ya que se pueden adquirir datos del objeto sin la necesidad de utilizar medidas invasivas o de contacto. La termografía trata con la detección, registro, procesamiento y visualización de radiación infrarroja. Actualmente es considerada como uno de los métodos más interesantes de observación y diagnóstico. (Worsztynowicz, Uhryński, Borkowski, & Pluta, 2017). El dispositivo que permite adquirir estos datos básicamente consiste de un sistema óptico y un detector de radiación infrarroja esta señal se amplifica y procesa mediante un circuito electrónico para que se pueda visualizar en cualquier tipo de pantalla.

La inyección de agua enfría significativamente la mezcla de aire-gasolina en el motor e incrementa la densidad del aire en dicho caso. Por lo tanto se podrá alcanzar una potencia mayor con el incremento de la masa de aire fresco que ingresa al cilindro (Mingrui, Thanh Sa, Fiifi Turkson, Jinping, & Guanlun, 2015, p. 5).

(Bozza, De Bellis, & Teodosio, 2016) indican que: “tanto el consumo específico de combustible al freno como la temperatura de los gases de escape se reducen mientras se incrementa la relación de mezcla de agua y combustible” (p. 113).

La alta entalpia de vaporización y el bajo punto relativo de ebullición del etanol ayuda a

reducir el pico de presión y temperatura al final de la compresión debido al cambio de fase del etanol durante el proceso (Asad, Kumar, Zheng, & Tjong, 2015).

La Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-167-SEMARNAT-2016 establece límites máximos permisibles de emisión de contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores que usan gasolina como combustible y cuyo peso bruto vehicular es mayor de 400 kilogramos en el método de prueba estática considerando los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente, determinados por la Secretaría de Salud. (SEGOB Secretaría de Gobernación, 2016)

1.2. Planteamiento del problema

La industria automotriz considera como puntos de desarrollo tecnológico – científico mejorar la eficiencia térmica de los motores de combustión interna para optimizar el rendimiento mecánico y el control de emisiones para el cumplimiento de normativas, por lo que en algunos modelos de vehículos es necesario implementar tecnología y sistemas automotrices que optimicen las prestaciones vehiculares de los automotores mediante dispositivos de inyección de fluidos que actúan como aditivos o como segregados con alto calor de vaporización como método de tratamiento pre combustión.

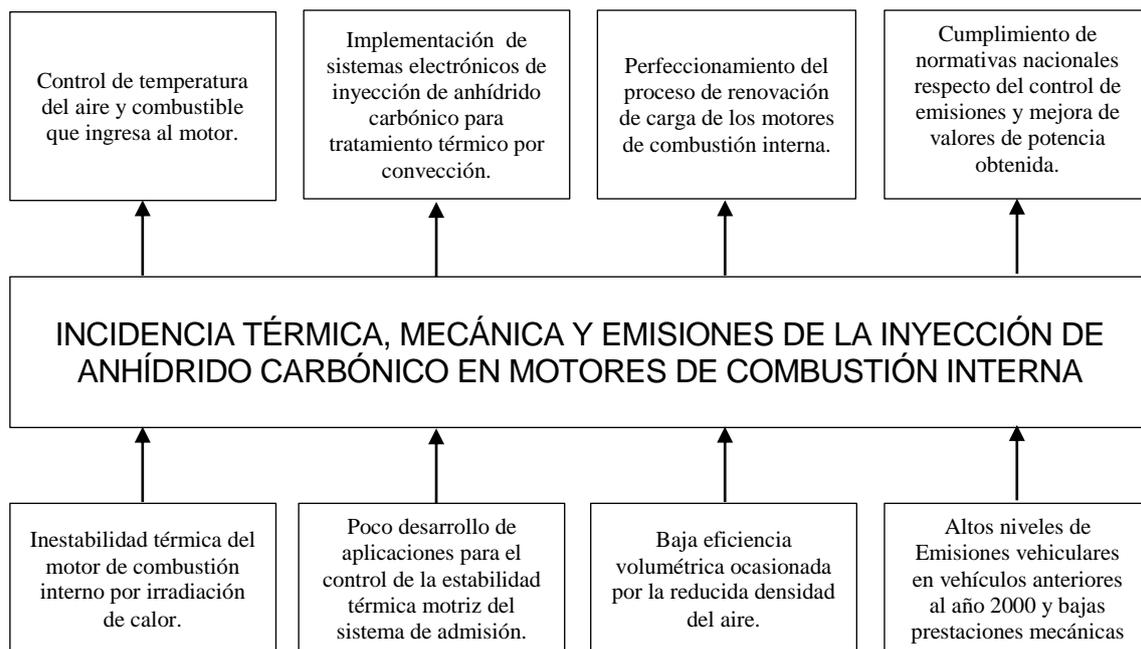


Figura 1. Árbol de problemas

El incremento de la temperatura del aire durante el proceso de admisión debido a la inestabilidad térmica del motor de combustión interna ocasiona que los niveles de emisiones de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos no combustionados se encuentren fuera de los rangos permitidos por las normas vigentes.

La densidad del aire es otro factor que se ve comprometido junto con la eficiencia volumétrica que inciden en la renovación de carga y llenado del cilindro, estos factores se relacionan directamente con la cantidad de potencia que va a entregar el motor.

La expansión del anhídrido carbónico a presión ambiente alcanza $-78.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. A esta temperatura mediante convección se enfriará el aire de admisión y la alimentación de combustible dando como resultado la reducción de la temperatura final del ciclo de admisión obteniendo una menor emisión de los gases contaminantes mencionados, además de un incremento en la potencia mecánica del motor ya que el llenado del cilindro mejora a

consecuencia del incremento de la densidad del aire y la eficiencia volumétrica.

1.3. Descripción resumida del proyecto

La investigación se desarrolló a partir de la fundamentación teórica, técnica y científica de procedencia confiable de fuentes bibliográficas, bases digitales, manuales, etc.

Se implementó un método de tratamiento pre combustión y control térmico mediante la inyección electrónica de anhídrido carbónico en la admisión por bulbo metálico y combustible mediante encamisado de tubos para el sistema de alimentación del vehículo de prueba.

Para la inyección de anhídrido carbónico se diseñó e implemento un módulo electrónico de control de irrigación del fluido considerando valores de régimen de giro del motor (r.p.m.) que determinará el tiempo, cantidad y duración de accionamiento del sistema.

Se estableció un protocolo de pruebas de funcionalidad del sistema tratamiento pre combustión y control térmico en el motor Suzuki G13 a partir de ciclos de conducción que valide los tiempos de inyección del fluido, además de pruebas térmicas, desempeño mecánico (torque – potencia) y emisiones.

Se ejecutaron mediciones y pruebas térmicas, parámetros de desempeño del motor (torque y potencia) y emisiones, antes y después de la implementación del sistema de tratamiento pre combustión y control térmico mediante la inyección electrónica de anhídrido carbónico.

Se realizaron mediciones termográficas con la cámara Termográfica Fluke TIS60 en tiempo real de los puntos críticos de análisis del motor, con los datos obtenidos se creó un modelo térmico del comportamiento del motor de combustión interna, mediante análisis computarizado de fluidos dinámico se estableció las ganancias o pérdidas en cada uno de los elementos del sistema para la admisión como el sistema de alimentación de combustible.

Se efectuaron pruebas de desempeño mecánico de torque y potencia en el dinamómetro de rodillo DYNOMITE en la empresa Dinamyca Competición mediante el protocolo establecido por el fabricante:

- Anclaje del vehículo tomando en cuenta su tipo de tracción.
- Se recomienda quitar las restricciones de ingreso de aire del vehículo.
- Utilizar un sistema de ventilación que emule las condiciones normales de funcionamiento del sistema de refrigeración.
- Acoplar un sistema de extracción de gases a la salida del tubo de escape del vehículo.
- No exceder el límite de revoluciones establecido de 8000 r.p.m.
- Aunque el fabricante no especifique el ciclo de trabajo de la máquina, se recomienda dar un periodo de detención de al menos una hora entre pruebas.

Se analizaron las emisiones con la ayuda del equipo de medición de gases AGS-688 en modo de test continuo y test oficial, el cual permite visualizar parámetros como HC, CO, CO₂, O₂ y NO_x, bajo estándares de la Norma NOM-167-SEMARNAT-2017 y NTE INEN 204:2002, en condiciones de prueba estática.

1.4. Justificación e importancia

La ineficiencia energética en vehículos de combustión interna producto de su inestabilidad térmica genera altos índices de emisiones contaminantes siendo este uno de los principales causales del cambio climático que aqueja actualmente a nuestra sociedad.

El proyecto de titulación busco proporcionar una investigación que desarrolle tecnología para el control del nivel de emisiones contaminantes en modelos de vehículos anteriores al año 2000, debido a las características propias de diseño de los sistemas de alimentación y admisión hacen que no cumplan con parámetros establecidos por las normativas vigentes.

El uso de anhídrido carbónico como medio para reducir la temperatura de la mezcla aire-combustible permitió optimizar los parámetros de combustión al incrementar la densidad de la mezcla que ingresa al cilindro obteniendo un mejor llenado e intercambio de mezcla mejorando el rendimiento mecánico del motor Suzuki G13.

El tema también tuvo como objetivo, proporcionar una manera más sencilla y eficaz de repotenciar un motor de combustión interna sin la necesidad de alterar sus componentes mecánicos, con una considerable relación de precio/incremento de potencia.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

- Analizar la incidencia térmica, mecánica y emisiones de la inyección de anhídrido carbónico en el sistema de admisión y combustible del motor SUZUKI G13“

1.5.2. Objetivos específicos

- Fundamentar teórica, técnica y científica parámetros de inyección de anhídrido carbónico en el motor SUZUKI G13 a partir de fuentes bibliográficas confiables.
- Implementar un método de tratamiento pre combustión y control térmico mediante la inyección de anhídrido carbónico en un bulbo metálico en el ducto de la admisión y un sistema encamisado en la cañería principal de combustible.
- Diseñar e implementar un módulo de control electrónico de irrigación del de anhídrido carbónico en el ducto de admisión y cañería principal de combustible del motor SUZUKI G13 que determine la inyección del fluido.
- Establecer un protocolo de pruebas del sistema tratamiento pre combustión, para realizar mediciones térmicas con la ayuda de la cámara termográfica Cámara termográfica Fluke TIS60, desempeño (torque y potencia) en el dinamómetro de rodillo DYNomite y emisiones en el analizador Brain Bee AGS-688, antes y después de la implementación del sistema de inyección de anhídrido carbónico.
- Analizar la incidencia térmica, mecánica y emisiones de la inyección del anhídrido carbónico mediante un modelo matemático y análisis grafico – estadístico.

1.6. Metas

- Implementar un sistema de inyección controlada de anhídrido carbónico en el motor Suzuki G13.
- Mejorar la potencia mecánica del motor Suzuki G13 mediante el incremento de la eficiencia volumétrica y llenado del cilindro.
- Reducir los niveles de emisiones contaminantes para el cumplimiento de las normas NOM-EM-167-SEMARNAT-2016 e NTE INEN 2 204:2002, en condiciones de prueba estática.

1.7. Hipótesis

La inyección controlada de anhídrido carbónico CO₂ mediante bulbo metálico en el ducto de la admisión y un sistema encamisado en la cañería principal de combustible mantendrá la estabilidad térmica del proceso de admisión aire – combustible del motor Suzuki G13 con lo cual disminuirá los niveles de emisiones de óxidos de nitrógeno en un 10%.

La inyección controlada de anhídrido carbónico CO₂ mejorará la eficiencia volumétrica y el llenado del cilindro del motor Suzuki G13, de tal manera que se incrementará 5% de potencia mecánica a las ruedas.

1.8. Variables de investigación

1.8.1. Variable independiente

Sistema de inyección de anhídrido carbónico.

Tabla 1.

Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
El sistema CryO2 aprovecha las cualidades criogénicas de este gas asegurando una disminución de la temperatura de al menos 10 °C en el sistema de carga de aire de admisión, existe otro método para enfriar el combustible, que también se lo utilizara en este proyecto de investigación	Parámetros de funcionamiento característicos del motor Suzuki G13	Régimen de giro del motor	RPM	Medición	Ensayo de pruebas de laboratorio
		Tiempo de inyección	ms	Medición Cálculo	Ensayo de pruebas de laboratorio

1.8.2. Variable dependiente

Incidencia térmica, mecánica y emisiones motor Suzuki G13.

Tabla 2.

Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Incidencia Térmica	Parámetros termográficos característicos del MCI	Temperatura de ingreso del aire de admisión	°C K	Medición Cálculos	Ecuaciones Sensores Cámara termográfica
		Temperatura del combustible	°C K	Medición Cálculos	Ecuaciones Cámara termográfica
Incidencia Mecánica	Parámetros Mecánicos característicos	Torque	Nm	Medición	Dinamómetro de rodillos
		Potencia	HP	Medición	
Incidencia en niveles de Emisiones	Contaminación	Niveles de emisiones	ppm HC % CO % NOx %	Medición	Analizador de gases Brain Bee AGS-688
	Rendimiento térmico	Entropía	Joulel/k	Cálculos	Ecuaciones Ordenador gráfico

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Anhídrido carbónico (CO₂)

El anhídrido carbónico se transporta, almacena y maneja de forma líquida en cilindros no aislados a presiones de 45-65 bar. (Abelló Linde, S.A., 2018)

2.1.1. Propiedades

Expresadas en la Tabla 3:

Tabla 3.

Propiedades del CO₂

Propiedades Físicas del Gas				
Peso Molecular	(0 °C, 1atm)	44.01 g/mol	Punto de Sublimación	(1atm) -78.5 °C
Densidad del Sólido	(1atm)	1562kg/m ³	Presión Crítica	73.825 bar
Densidad del Gas	(15 °C, 1atm)	1.87 kg/m ³	Temperatura Crítica	31.06 °C
Densidad del Gas	(0 °C, 1atm)	1.977 kg/m ³	Gravedad Específica	1.529 g/mol

Fuente: (Indura, 2003)

2.1.2. Aplicaciones

- “Extracción de calor industrial, almacenes de frío, buques de transporte, refrigeración comercial y aires acondicionados móviles”. (Linde, 2019)
- Al tratarse de un gas versátil (Linde, 2019). Afirma que: este puede utilizarse de varias maneras sin perjudicar su ciclo atmosférico. (p. 2)

2.1.3. Precauciones

Al trabajar con este gas (Behr Hella Service, 2018) señala que:

- Cuando el CO₂ sea el refrigerante de un circuito, debe estar protegido frente a una potencial explosión de los componentes.
- Una concentración de CO₂ en el aire superior al 5% puede provocar desde dolor de cabeza y mareos hasta la pérdida de la consciencia si se trata de una concentración aún mayor.(p. 2)

2.2. Convección

Este es un tipo de transferencia de energía existente entre un sólido y el gas o líquido cercano, ambos en movimiento con características similares a la conducción y tendencia de fluidos, la transferencia de calor por este método es directamente proporcional a la rapidez del desplazamiento del fluido. (Yunus A., 2007)

$$q_c = \bar{h}_c A (T_s - T_\infty)$$

Ecuación 1. Tasa de transferencia de calor por convección

Fuente: (Kreith, Manglik, & Bohn, 2012)

Donde:

q_c = Tasa de transferencia de calor por convección, W (Btu/h).

A = Área de transferencia de calor, m² (ft²).

\bar{h}_c = Coeficiente de transferencia de calor por convección promedio sobre el área A, W/m²K (Btu/h ft² °F).

T_s = Temperatura superficial, K (°F).

T_∞ = Temperatura del fluido, K (°F).

En la figura 2 se puede apreciar como el calor es transmitido desde la superficie del cuerpo con mayor a temperatura hacia el fluido que toma contacto con él.

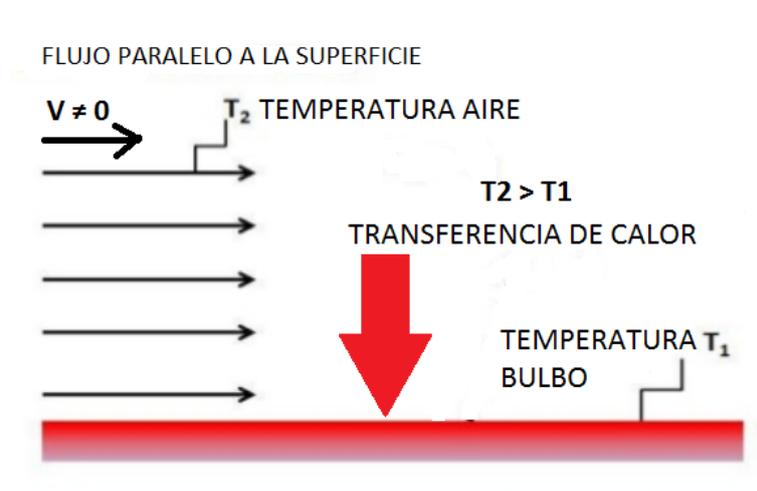


Figura 2. Transferencia de calor por convección

Fuente: (Maza, 2017)

2.2.1. Convección Forzada

Se produce cuando el fluido recibe ayuda de otro agente (ventilador, bomba, viento) para realizar el proceso. (Yunus A., 2007)

En la figura 3 se puede identificar dos tipos de comportamiento del fluido en la primera parte de la placa para iniciar como laminar y luego se transforma en turbulento.

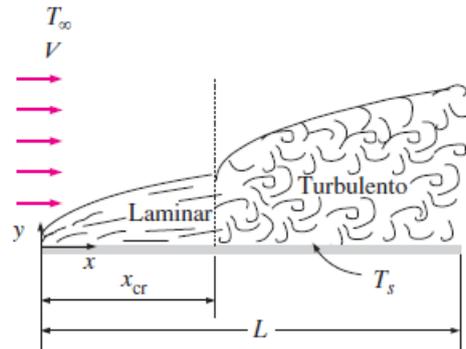


Figura 3. Flujo laminar o turbulento

Fuente: (Yunus A., 2007, p. 399)

2.2.2. Convección Natural

También conocida como libre, es aquella que solo depende de las fuerzas de empuje por las variaciones de la densidad producto de la temperatura del fluido. (Yunus A., 2007)

En la figura 4 se identifica una superficie sobre la cual no existe una corriente de fluido con una velocidad de aproximación, en este caso el calor se transfiere de manera natural aunque a una tasa menor que el mismo caso pero con una velocidad en el fluido.

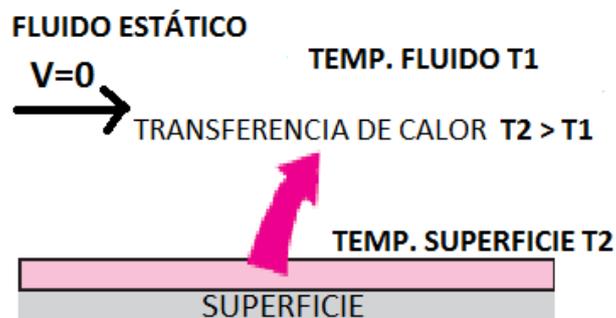


Figura 4. Concepto de convección natural

Fuente: (Yunus A., 2007, p. 356)

2.3. Número de Reynolds

Describe la razón de las fuerzas de inercia a las fuerzas viscosa del fluido, es una cantidad adimensional y se expresa de la siguiente forma.

$$Re = \frac{\text{Fuerzas de inercia}}{\text{Fuerzas viscosa}} = \frac{VLc}{\nu}$$

Ecuación 2. Ecuación número de Reynolds

Fuente: (Yunus A., 2007, p. 386)

Donde:

P: Viscosidad del fluido

V: Velocidad del fluido

Lc: Longitud característica de la configuración geométrica

ν : Viscosidad cinemática

2.4. Número de Nusselt

Representa el mejoramiento de la transferencia de calor a través de una capa de fluido como resultado de la convección en relación a la conducción a través de la misma capa.

Se lo determina a través del modelo matemático:

$$Nu = \frac{hLc}{k}$$

Ecuación 3. Número de Nusselt

Fuente: (Yunus A., 2007, p. 382)

Donde:

h: Coeficiente de transferencia de calor

Lc: Longitud característica de la configuración geométrica

k: Conductividad térmica del fluido

2.5. Emisiones Contaminantes

2.5.1. Dióxido de Carbono (CO₂)

“Se encuentra presente en el combustible, de realizarse una combustión completa el 13.7% del total será de CO₂ , la cantidad emanada de este depende del consumo de combustible así como también su reducción”. (Bosch GmbH, 2003, p. 43)

2.5.2. Monóxido de Carbono (CO)

El monóxido de carbono es el contaminante del aire más abundante en la capa inferior de la atmósfera, sobre todo en el entorno de las grandes ciudades. El CO es un gas incoloro, inodoro e insípido, siendo un gas muy ligero no apreciablemente soluble en agua. Es inflamable y se caracteriza por su gran capacidad de dispersión. (Carnicer, 2008, p. 15).

“Se produce como consecuencia de una combustión incompleta El CO es un gas incoloro e inodoro. Este gas reduce la capacidad de admisión de oxígeno en la sangre y conduce por lo tanto a la intoxicación del cuerpo” (Bosch, 2000).

2.5.3. Hidrocarburos (HC)

Contienen porcentajes de combustible no quemados o hidrocarburos formados de nuevo, existen tres tipos: los aromáticos anulares los cuales pueden percibirse con el olfato, los alifáticos los cuales a más de poseer un bajo punto de ebullición son inodoros y los oxidados que poseen un pésimo olor y al ser expuestos a radiación solar generan productos derivados los cuales pueden ser cancerígenos en caso de exposición permanente en ciertas concentraciones al igual que los aromáticos. (Bosch, 2000, p. 43).

2.5.4. Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Los óxidos de nitrógeno (NO_x), constituyen uno de los principales contaminantes emitidos durante el proceso de combustión, los que contribuyen a la contaminación ambiental. Estos gases están involucrados en problemas medioambientales, tal como la lluvia ácida, y algunas enfermedades como bronquitis y neumonía. (Fernández Ríos & Araya Araya , 2012, pág. 16)

2.6. Norma nacional de emisión de gases contaminantes NTE INEN 2 204:2002

Esta norma establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de gasolina (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 1974)

Tabla 4.

Límites máximos de emisiones para vehículos con motor a gasolina

Año modelo	%CO		Ppm HC	
	0-1500 m	1500-3000 m	0-1500 m	1500-3000 m
2000 y posteriores	1.0	1.0	200	200
1990 a 1999	3.5	4.5	650	750
1989 y anteriores	5.5	6.5	1000	1200

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2002)

2.7. Componentes del sistema del intercambiador de calor

2.7.1. Depósito de almacenamiento de (CO_2)

(Abelló Linde, S.A., 2018) señala que: los cilindros de (CO_2) son generalmente de acero al carbono, este material sufre un corrosión peligrosa por el ácido carbonico (CO_2 disuelto en H_2O), por lo tanto se debe tener especial cuidado en evitar el ingreso de agua o fluidos acuosos. (p. 2)



Figura 5. Depósito de CO_2

Fuente: (Design Engineering Inc, 2019)

2.7.2. Bulbo Metálico

Consiste de una sección de tubo de aluminio que en su interior alberga un bulbo metálico con una cámara de enfriamiento, cuyo diseño aerodinámico evita pérdidas en la carga de aire del motor.



Figura 6. Bulbo metálico.

Fuente: (Design Engineering Inc, 2019)

2.7.3. Encamisado Metálico

Consiste de una sección de tubo de aluminio con un ingreso y salida de combustible, en su interior se encuentran recamaras de menor diámetro distribuidas concéntricamente por las cuales circula el agente refrigerante.



Figura 7. Encamisado metálico

Fuente: (Design Engineering Inc, 2019)

2.7.4. Electroválvula de paso

Solenóide eléctrico con tensión de trabajo nominal de 12 voltios, debido a la criogenización del anhídrido carbónico en su interior se debe tener especial cuidado con los tiempos de activación para no causar avería en sus componentes electrónicos.



Figura 8. Electroválvula de paso

Fuente: (Design Engineering Inc, 2019)

2.7.5. Conexiones rígidas

Las siglas NPT provienen del acrónimo del inglés "National Pipe Thread" (Rosca nacional de tubos), "NPT es una rosca cónica externa usada en tubos, uniones o accesorios". (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 1974, p. 1)



Figura 9. Conexión NPT

Fuente: (Design Engineering Inc, 2019)

Las siglas AN provienen del acrónimo "Army-Navy" (Ejército y Armada), este tipo de rosca provee un ajuste especial debido a su Angulo de 37°, en un inicio su uso era destinado exclusivamente a la industria aeroespacial.



Figura 10. Conexión AN

Fuente: (Design Engineering Inc, 2019)

2.7.6. Conexiones flexibles

La cañería flexible revestida de acero es adecuada para una amplia gama de temperaturas (-270 °C a 750 °C), compensa la expansión o contracción térmica en el sistema, resistente al fuego y a la humedad su estructura interna está formada por un tubo corrugado tipo AISI 304 y externamente por un trenzado de alambre. (Nikare Distribución SL, 2019)



Figura 11. Cañería flexible INOX

Fuente: (Design Engineering Inc, 2019)

2.8. Componentes Electrónicos

2.8.1. Microcontrolador ATmega 328P

Microcontrolador de alto desempeño @ 8bits y muy bajo consumo de corriente, seis canales de señal PWM, 8 canales de conversión análoga a digital @10bits y 23 entradas o salidas programables. (Atmel Corporation, 2009)

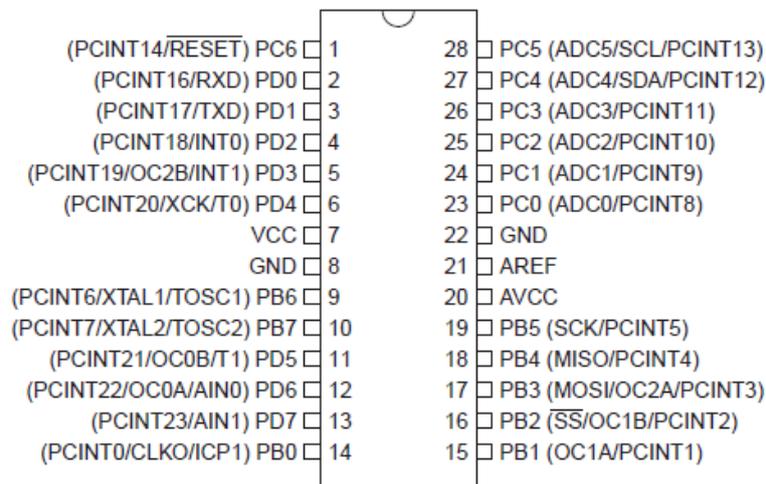


Figura 12. Disposición de pines ATmega328P

Fuente: (Atmel Corporation, 2009)

2.8.2. Pantalla LCD

La pantalla posee 5x8 puntos con cursor, 2 líneas de 16 caracteres cada una, Interface MPU de 4 o 8 Bits, cumple requisitos ROHS. (Xiamen Amotec Display Co., Ltd, 2008)



Figura 13. Pantalla LCD de 16x2

Fuente: (Xiamen Amotec Display Co., Ltd, 2008)

2.8.3. Regulador de Tensión

El regulador de voltaje es parte de una fuente de alimentación, su voltaje de entrada proviene de la salida filtrada de un rectificador producido por un voltaje de CA o por una batería, en el caso de sistemas portátiles. Regulador de tensión positiva a 5 voltios. (Floyd, 2008, pág. 845)

2.8.4. Diodo

“Elemento semiconductor resultante de la unión de cristales P y N, que permite el paso de corriente en un solo sentido” (Hinlopen, 1992, pág. 24).

En la industria automotriz, estos tienen varias funciones siendo utilizados como rectificadores, protectores de circuitos y descarga, entre otras. (Gillieri, 1990)

2.8.5. Transistor

(Hinlopen, 1992) expresa que este es un elemento semiconductor similar al diodo

construido a base de materiales p y n , con tres plaquitas de material semiconductor de acuerdo a su polaridad son pnp o npn, se encuentran en máquinas e instrumentos electrónicos de medida para el automóvil, sistemas de encendido electrónico ,receptores de televisión, amplificadores, etc.

2.8.6. Resistencia

La finalidad de este elemento electrónico es oponer una resistencia al paso de la corriente eléctrica reciben el nombre de resistencias. Se distingue entre resistencias metalizas y resistencias de cerámica. Una resistencia metálica consiste en un cuerpo aislante envuelto por un alumbrado metálico resistente. (Senner, 1994, p. 28)

2.8.7. Ley de Ohm

“La corriente en un circuito de corriente continua varía, y es directamente proporcional con la diferencia de potencial (voltaje), e inversamente proporcional con la resistencia del circuito.” (Senner, 1994, p. 26)

$$V = IxR$$

Ecuación 4. Ley de Ohm

Fuente: (Senner, 1994)

Donde:

V: Voltaje (voltios)

I: Intensidad (amperes)

R: Resistencia (Ohms)

2.9. Equipos de Diagnostico

2.9.1. Analizador de gases de escape

El AGS-688 cuenta con seis unidades LCD retroiluminadas, que muestran las lecturas de las pruebas en curso. Tras finalizar el análisis, el usuario puede imprimir directamente los resultados de las pruebas o enviarlas a un ordenador conectado. El analizador permite realizar pruebas estáticas y el ensayo oficial para la norma ecuatoriana INEN 2:204 (Mahle, 2019)



Figura 14. Analizador de Gases Brain Bee AGS-688

Fuente: (GlobalTech, 2019)

Tabla 5.

Unidades de medición AGS-688

Características	Unidad
Anhídrido Carbónico (CO ₂)	% Vol
Monóxido de Carbono (CO)	% Vol
Hidrocarburos (HC)	ppm/Vol
Oxígeno (O ₂)	% Vol
Factor Lambda (λ)	-

2.9.2. Cámara termográfica

Estas cámaras poseen infrarrojos de notables prestaciones y totalmente radiométricas,

están fabricadas para su uso en entornos de trabajo adversos siendo ideales para mantenimientos preventivos y predictivos. (Fluke Corporation, 1995-2019)



Figura 15. Cámara termográfica

Fuente: (Fluke Corporation, 1995-2019)

2.10. Regresión lineal múltiple

(Rojo Abuín, 2007) expresa que para realizar un análisis de regresión lineal múltiple se deben hacer las siguientes consideraciones:

a. Linealidad

Los valores de las variables dependientes deben corresponder al modelo lineal: $Y=X*B+U$.

b. Homocedasticidad:

Todas las perturbaciones tienen la misma varianza: $V(u_1)=\sigma^2$

c. Independencia

Las perturbaciones aleatorias son independientes entre sí: $E(U_i, U_j) = 0$

“Si los datos cumplen con estas hipótesis, el método de estimación de mínimos cuadrados va a producir estimadores óptimos, en el sentido que los parámetros estimados van a estar centrados y va a ser de mínima varianza” (Rojo Abuín, 2007, p. 42).

2.10.1. Estimación por reducción a mínimos cuadrados

Según (Torrelavega, 2019), El método más efectivo para determinar los parámetros a y b se conoce como técnica de mínimos cuadrados, consiste en someter el sistema a diferentes condiciones, fijando para ello distintos valores de la variable independiente x , y anotando en cada caso el correspondiente valor medido para la variable dependiente y .

El objetivo del método de mínimos cuadrados es el de elegir el parámetro θ que mejor aproxima la señal original $s[n]$ a los datos observados $x[n]$, el criterio de proximidad que se aplica en este caso es el que resulta de considerar una función de coste o discrepancia $J(\theta)$ que se forma con la norma al cuadrado del error. Así, el estimador de mínimos cuadrados es aquel que minimiza esta función de coste.

2.10.2. Interpretación geométrica

El error mínimo \tilde{e} es ortogonal al subespacio $M(H) = \{y: y = Hz \forall z \in R^p\}$ generado por las columnas de H .

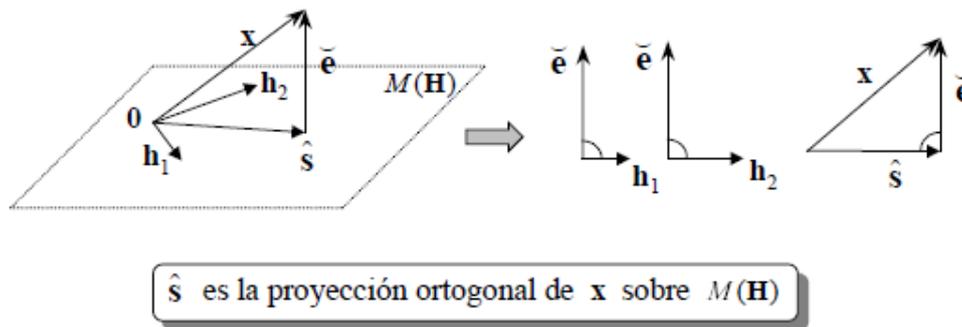


Figura 16. Interpretación geométrica mínimos cuadrados

Fuente: (Torrelavega, 2019)

Sea $M(H)$ el subespacio generado por las columnas de H , la norma del error entre un vector x arbitrario y cualquier punto de este subespacio es mínima, sí y solo sí, el error es ortogonal al subespacio.

2.10.3. Estimación

Supongamos que b es un valor de "candidato" para el parámetro β . La cantidad $y_i - x_i'b$ se denomina residual para la i -ésima observación, mide la distancia vertical entre el punto de datos (x_i, y_i) y el hiperplano $y = x'b$, y por lo tanto se determina el grado de ajuste entre los datos reales y el modelo.

$$S(b) = \sum_{i=1}^n (y_i - x'_i b)^2 = (y - Xb)^T (y - Xb)$$

Ecuación 5. Estimación mínimos cuadrados

Fuente: (Torrelavega, 2019)

Donde T denota la matriz transposición. El valor de b que minimiza esta suma se llama el estimador MCO (mínimos cuadrados ordinarios) de β , la función S(b) es cuadrática en b con definida positiva de Hesse, y por lo tanto esta función posee un mínimo global único en $b = \hat{\beta}$.

$$\hat{\beta} = \operatorname{argmin} S(b) = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i x'_i \right)^{-1} \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i x'_i$$

Ecuación 6. Estimador MCO

Fuente: (Torrelavega, 2019)

Ó de manera equivalente en forma de matriz.

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T y$$

Ecuación 7. Estimador MCO forma matricial

Fuente: (Torrelavega, 2019)

CAPÍTULO III

3. SISTEMA DE INYECCIÓN DE ANHÍDRIDO CARBÓNICO

3.1. Instalación del sistema de inyección de anhídrido carbónico CRYO2

3.1.1. Depósito de anhídrido carbónico y cañería flexible.

Un kilogramo líquido de CO₂ se expande a 550 litros de gas a presión atmosférica y 20°C, la presión del depósito es de aproximadamente 57 bar a temperatura ambiente.

Dado el espacio disponible en el vehículo para ubicar el depósito se optó por uno de 5lbs de capacidad.



Figura 17. Depósito CO₂

Fuente: (Torrelavega, 2019)

El depósito está elaborado de aluminio y sus características se describen en la tabla 6.

Tabla 6*Características depósito CO2*

Descripción	Capacidad	Presión de operación (max)	Normativa
Depósito CO2 5lb	4 lb	125 bar	DOT 3AL/TC 3ALM

Se utilizó cañería flexible con recubrimiento metálico, la cual conduce el flujo de CO2 desde el depósito hacia la electroválvula, bulbo metálico, encamisado y finalmente hacia el ambiente.

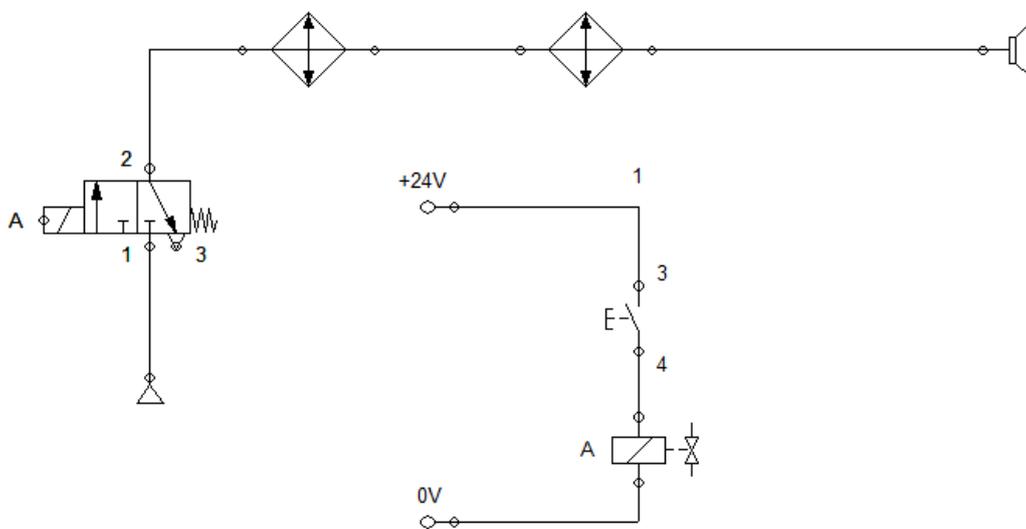
**Figura 18.** Cañería con revestimiento

Fuente: (Torrelavega, 2019)

A partir de la presión a la que se encuentra almacenado el CO2 y la medida de las uniones en los elementos del sistema se seleccionó cañería flexible con recubrimiento trenzado de acero inoxidable con un diámetro interior de 5.6mm.

Tabla 7.*Características cañería flexible*

Diámetro interior	Presión de operación (max)	Radio de giro (min)
5.6 mm	70 bar	50 mm

**Figura 19.** Esquema neumático**3.1.2. Bulbo enfriador del aire de admisión**

La forma característica de gota del bulbo permite reducir las pérdidas aerodinámicas en el ingreso de aire además posee una amplia superficie de contacto que maximiza el intercambio de calor.

Mediante análisis computarizado de fluidos dinámicos se comprobó la diferencia en la velocidad del flujo de ingreso de aire a través de una esfera y un objeto aerodinámico.

Al ingreso al bulbo metálico el aire alcanza 4 m/s luego del contacto con el bulbo este decrece hasta 2 m/s esta zona predomina en la esfera, mientras que las zonas rojas indican valores de hasta 14 m/s.

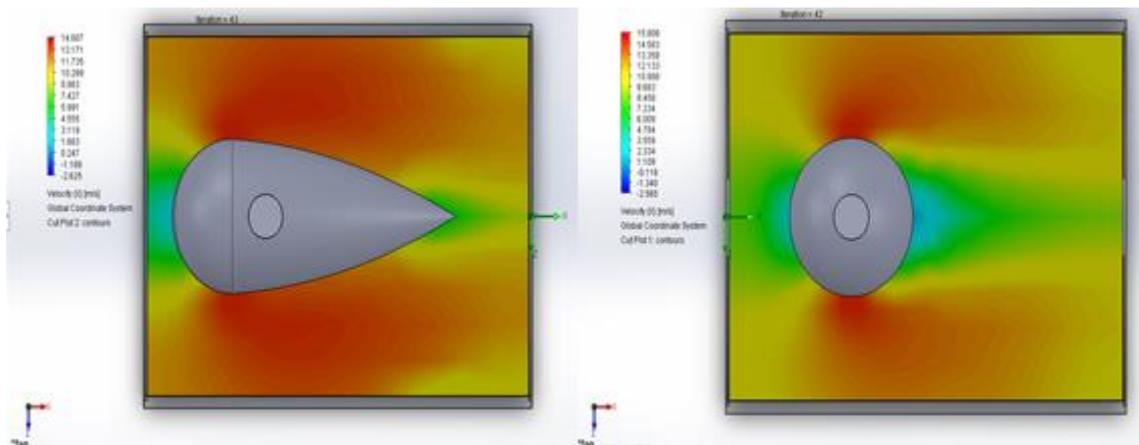


Figura 20. Comparación pérdida aerodinámica entre objeto aerodinámico y esfera

El cuerpo aerodinámico permite mayor velocidad del fluido (aire) en la mitad de la esfera, debido a la geometría de la misma.



Figura 21. Bulbo y Base Metálica

3.1.3. Tubo encamisado para combustible

Para enfriar el combustible se usó un encamisado de tubos concéntricos, para maximizar la transferencia de calor el flujo tiene contacto de forma perpendicular con la superficie de los tubos dentro de los cuales tiene lugar la expansión de CO₂.

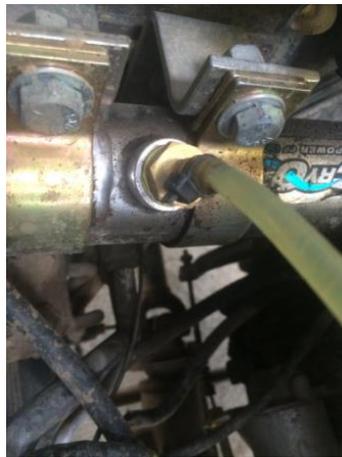


Figura 22. Encamisado y Base Metálica

La fijación del conjunto en el compartimiento del motor se realizó mediante bases metálicas empernadas al cortafuego.

3.1.4. Cañería para la ventilación de anhídrido carbónico

Se ubicó en el lado opuesto al ducto de admisión evitando que el anhídrido carbónico al ser liberado del circuito ingrese a la admisión y altere la estequiometría de la mezcla.



Figura 23. Cañería de ventilación

3.2. Transferencia de calor hacia el aire y combustible

El intercambio de calor toma lugar gracias a la convección forzada producida tanto en el aire con la superficie del bulbo metálico como en el combustible con la superficie de los tubos del encamisado, además una pequeña cantidad de calor es transferida por radiación.

3.2.1. Razón de transferencia de calor en la admisión

El modelo se consideró como un intercambiador de calor de flujo interno sobre una superficie, tomando el modelo matemático de enfriamiento de Newton y se corroboró los resultados con los obtenidos a través de una simulación computarizada de dinámica de fluidos la cual además sirvió para determinar las pérdidas aerodinámicas que generan la presencia del cuerpo dentro del ducto de aire de admisión.

Los datos de temperatura tanto ambiental como superficie de contacto se los recopiló a través de las pruebas termográficas y anemométricas.

En la muestra termográfica durante la inyección de CO₂ de 20 segundos, se aprecia que la temperatura superficial del bulbo metálico se encuentra alrededor de -10°C y con el uso del anemómetro, la velocidad de ingreso de aire al motor a 3000 RPM ronda los 3.2m/s.



Figura 24. Anemómetro

Los valores de temperatura que alcanza el bulbo metálica luego de una inyección de 20 segundos son de -10.2 °C, este valor decrece a medida que el CO₂ continúa el recorrido.

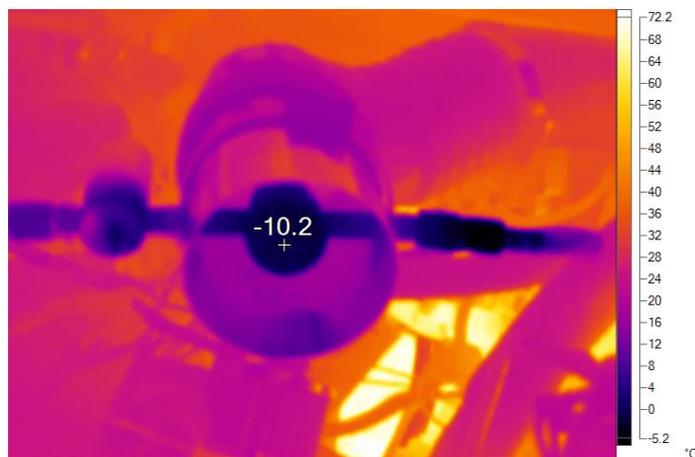


Figura 25. Medición Termográfica bulbo metálico.

En la tabla 8 se encuentran los datos físicos y térmicos del bulbo metálico cabe recalcar que el material del cual está elaborado es plomo.

Tabla 8.

Cálculo de transferencia de calor

Datos	Ecuación	Resultado
Área superficial bulbo (A_s)	Medición por software	0.07239 m^2
Temperatura superficial bulbo	Obtenido por termografía	$-10 \text{ }^\circ\text{C}$
Temperatura aire de admisión	Temperatura ambiental	$10 \text{ }^\circ\text{C}$
Longitud característica	Longitud Bulbo	0.0315 m
Velocidad de ingreso de aire	Anemómetro	3.2 m/s
Número de Reynolds (Re)	$Re = \frac{V * Lc}{\nu}$	16624.8559
Número de Nusselt (Nu)	$Nu = 2 + \left[0.4Re^{\frac{1}{2}} + 0.06Re^{\frac{2}{3}} \right] * Pr^{0.4} \left(\frac{u_0}{u_s} \right)^{1/4}$	83.4505
Coefficiente de transferencia de calor (h)	$h = \frac{Nu * k}{Lc}$	$65.5947 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$
Transferencia de calor por convección (Q_{conv})	$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty)$	-94.9704 W(J/s)
Transferencia de calor por radiación (Q_{rad})	$\dot{Q}_{raad} = \epsilon\sigma A_s(T_s^4 - T_\infty^4)$	-6.7011 W(J/s)
Transferencia de calor total	$\dot{Q} = \dot{Q}_{raad} + \dot{Q}_{conv}$	-101.0415 W(J/s)
Calor total transferido	$Q = \dot{Q} * t$	-2033.4312 J
Temperatura final aire de admisión	$Q = m * Cp * (T_f - T_o)$	$6.4330 \text{ }^\circ\text{C}$
Temperatura final aire de admisión CFD	SIMULACIÓN	$5.78 \text{ }^\circ\text{C}$

En la figura 26 se aprecia que la reducción de temperatura del aire de admisión es mayor a razón de la proximidad hacia el bulbo alcanzando un valor de $5.78 \text{ }^\circ\text{C}$.

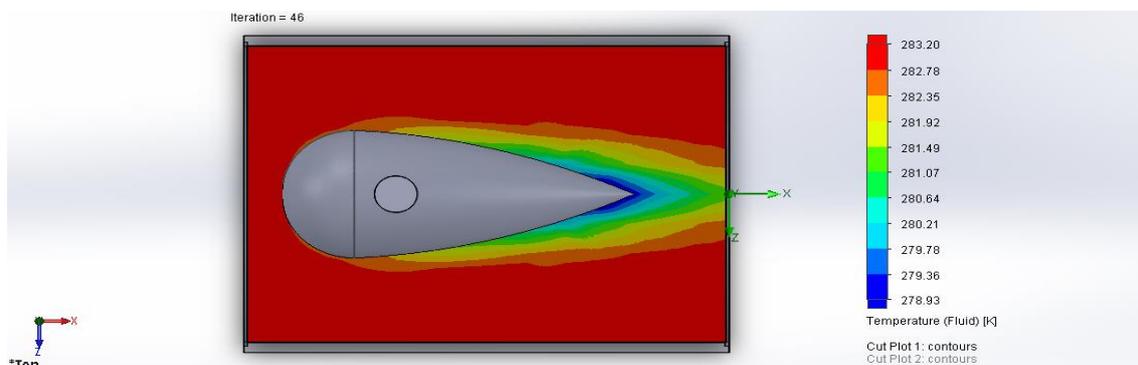


Figura 26. Simulación de transferencia de calor.

3.2.2. Transferencia de calor en el combustible

El modelo se consideró como un intercambiador de calor de tubos paralelos concéntricos escalonados, con flujo perpendicular sobre ellos, además se corroboró los datos obtenidos a través de una simulación computarizada de dinámica de fluidos.

Mediante la prueba termográfica se determinó la temperatura del combustible al ingreso al encamisado de tubos la cual rodea los 32°C.



Figura 27. Medición termográfica enfriador combustible

La velocidad de ingreso de combustible se determinó a través de la medición del caudal que entrega la bomba de combustible mecánica a diferentes velocidades de giro del motor.



Figura 28. Prueba de Caudal Bomba de Combustible

En la tabla 9 se determina las dimensiones físicas y térmicas del encamisado de tubos usado en la refrigeración del combustible.

Tabla 9.

Toma de Datos

Datos	Ecuación	Resultado
Número de tubos (NL)	Medición	9
Diámetro tubos (D)	Medición	8 mm
Área superficial tubos (As)	Medición	3.35E-04 m ²
Temperatura superficial tubos	Obtenido por termografía	4 °C
Temperatura combustible admisión	Obtenido por termografía	32.24 °C
Longitud de contacto tubos (L)	Tomada por medición	148 mm
Velocidad de ingreso de combustible	Medición	0.5 m/s
Velocidad máxima fluido	$V_{max} = \frac{ST}{ST - D} * V$	0.5004 m/s
Número de Reynolds (Re)	$Re = \frac{V_{max} * D}{\nu}$	6158.8229
Número de Nusselt (Nu)	$Nu = 0.031 * \left(\frac{ST}{SL}\right)^{0.2} * Re^{0.6} * Pr^{0.36} * \left(\frac{Pr}{Ps}\right)^{0.25}$	33.3395
Número de Nusselt corregido	Numero de tubos < 16	32.3393
Coefficiente de transferencia de calor (h)	$h = \frac{Nu * k}{D}$	483.4263 $\frac{W}{m^2K}$
Transferencia de calor por convección (Qconv)	$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_{\infty})$	-4.26 W(J/s)
Calor total transferido	$Q = \dot{Q} * t$	-85.2084 J
Temperatura final combustible	$Q = m * Cp * (Tf - To)$	24.6526 °C
Temperatura fina combustible CFD	SIMULACIÓN	23.11 °C

En la figura 29 se aprecia los puntos de temperatura máximos que es de 32.14 °C y mínimos de 23.11 °C.

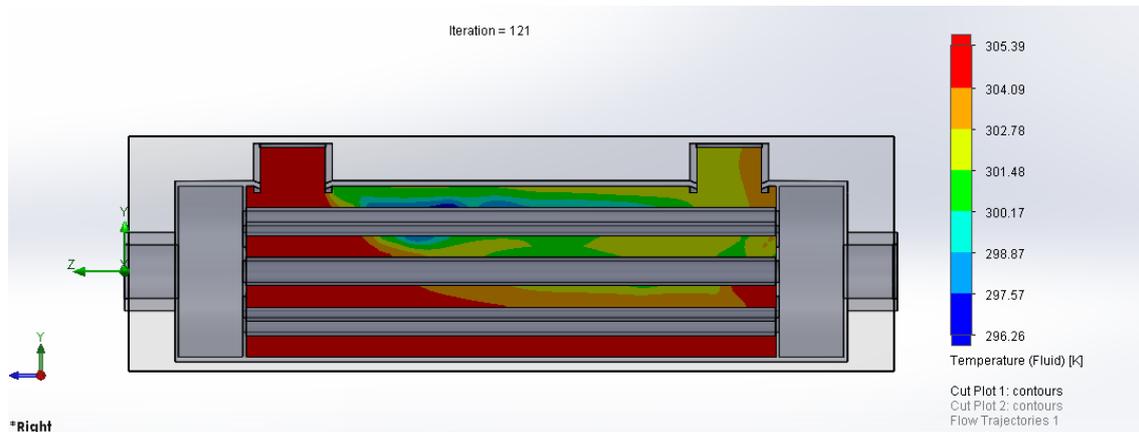


Figura 29. Simulación de transferencia de calor enfriador de combustible.

3.3. Modelo Matemático

Se obtuvo una ecuación para determinar el torque y potencia del motor Suzuki G13b durante la aplicación del tratamiento térmico, las variables independientes serán los valores de emisión de gases de escape como: O₂, HC, CO₂, CO Y NO.

3.3.1. Potencia

Los datos obtenidos en el banco dinamométrico se compararon con los valores de emisión de gases de escape a través de un análisis estadístico de correlación de Pearson el cual tiene como objetivo comprobar que tanto las variables independientes (O₂, HC, CO₂, CO Y NO) están relacionadas con la variable dependiente (POTENCIA), se obtuvieron valores entre 0 y 1, los valores se aproximan más a 1 cuando mayor correlación tiene las variables.

La tabla 10 indica los valores de correlación así valores más cercanos a uno indican mayor relación entre las variables independientes y la dependiente aunque entre variables independientes esta correlación debe ser mínima.

Tabla 10.

Correlación de variables independientes

		Correlaciones						
		Potencia	RPM	O2	HC	CO2	CO	NO
PEARSON CORRELATION	Potencia	1.000	.963	.450	-.836	.151	-.979	.968
	RPM	.963	1.000	.666	-.771	-.107	-.901	.879
	O2	.450	.666	1.000	-.300	-.792	-.286	.239
	HC	-.836	-.771	-.300	1.000	-.203	.820	-.815
	CO2	.151	-.107	-.792	-.203	1.000	-.334	.381
	CO	-.979	-.901	-.286	.820	-.334	1.000	-.999
	NO	.968	-.879	.239	-.815	.381	-.999	1.000
SIG (1-TALLED)	Potencia		.000	.000	.000	.077	.000	.000
	RPM	.000		.000	.000	.155	.000	.000
	O2	.000	.000		.002	.000	.003	.011
	HC	.000	.000	.002		.027	.000	.000
	CO2	.077	.155	.000	.027		.001	.000
	CO	.000	.000	.003	.000	.001		.000
	NO	.000	.000	.011	.000	.000	.000	
N	Potencia	91	91	91	91	91	91	91
	RPM	91	91	91	91	91	91	91
	O2	91	91	91	91	91	91	91
	HC	91	91	91	91	91	91	91
	CO2	91	91	91	91	91	91	91
	CO	91	91	91	91	91	91	91
	NO	91	91	91	91	91	91	91

Estos resultados permiten identificar que variables independientes son las que más se correlacionan con la variable dependiente y también que no existe una correlación significativa entre las variables independientes logrando un modelo matemático más confiable.

Usando una estimación de parámetros por ajuste a mínimos cuadrados de las variables de emisión de O₂, HC, CO₂ y NO se obtuvieron los coeficientes correspondientes para generar el modelo matemático expresado en la ecuación 8.

$$P = 875.832 - 2.648 * O2 - 0.045 * HC - 69.691 * CO2 + 0.264 * NO$$

Ecuación 8. Potencia en función de gases de escape

Donde:

P = Potencia a las ruedas en HP.

O2 = Oxígeno restante del proceso de combustión en % Vol.

HC = Hidrocarburos no combustionados en ppm/Vol.

CO2 = Anhídrido carbónico producido en % Vol.

NO = Óxidos de Nitrógeno en ppm/Vol.

El coeficiente de determinación que alcanzó el modelo matemático es de 0.995, es decir que el modelo se ajusta en un 99 % a la variable potencia esto se puede corroborar en la tabla 9, grafica donde se muestran la curva que representa el modelo sobrepuesta a la obtenida en el banco dinamométrico.

Tabla 11.

Coeficiente de determinación

Model Summary									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.997	.995	.995	.6902518	.995	4191.065	4	86	.000
a. Predictors: (Constant), NO, O2, HC, CO2									

En la figura 30 se aprecia las dos curvas de potencias en función de las RPM la línea roja es la que se obtuvo a través del banco dinamométrico mientras que la azul indica el comportamiento de la ecuación 5.

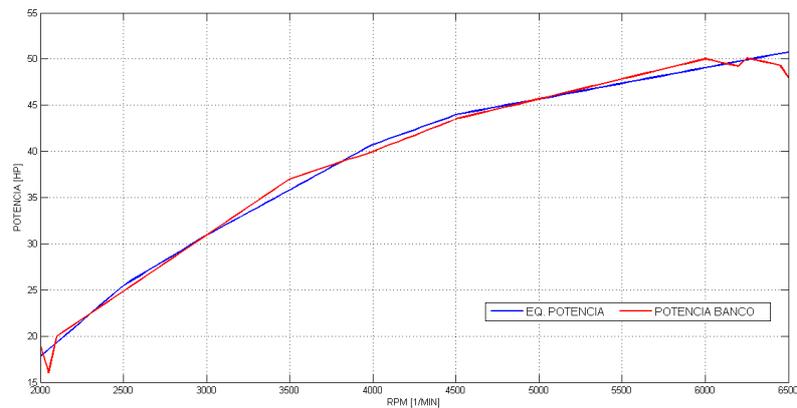


Figura 30. Potencia del Banco.

3.3.2. Torque

De igual manera como en el análisis de la potencia del motor, los resultados de correlación demuestran la relación directa que existe entre las variables de emisiones de escape y el torque del motor como se indica en la Tabla 12.

Tabla 12.

Correlación variables independientes

		Correlaciones						
		Torque	RPM	O2	HC	CO2	CO	NO
PEARSON CORRELATION	Torque	1.000	-.810	-.878	.369	.564	.522	-.483
	RPM	-.810	1.000	.666	-.771	-.107	-.901	.879
	O2	-.878	.666	1.000	-.300	-.792	-.286	.239
	HC	.369	-.771	-.300	1.000	-.203	.820	-.815
	CO2	.564	-.107	-.792	-.203	1.000	-.334	.381
	CO	.522	-.901	-.286	.820	-.334	1.000	-.999
	NO	-.483	.879	.239	-.815	.381	-.999	1.000
SIG (1-TALLED)	Torque		.000	.000	.000	.000	.000	.000
	RPM			.000	.000	.155	.000	.000
	O2				.002	.000	.003	.011
	HC					.027	.000	.000
	CO2						.001	.000
	CO							.000
	NO							
N	Torque	91	91	91	91	91	91	91
	RPM	91	91	91	91	91	91	91
	O2	91	91	91	91	91	91	91
	HC	91	91	91	91	91	91	91

		Correlaciones						
		Torque	RPM	O2	HC	CO2	CO	NO
	CO2	91	91	91	91	91	91	91
	CO	91	91	91	91	91	91	91
	NO	91	91	91	91	91	91	91

A través del método de ajuste por cuadrados mínimos se obtuvo el modelo matemático expresado en la ecuación 9.

$$T = -1130.972 + 2.512 * O2 - 0.136 * HC + 98.533 * CO2 - 0.151 * NO$$

Ecuación 9. Torque en función de gases de escape

Donde:

T = Torque a las ruedas en lb.ft.

O2 = Oxígeno restante del proceso de combustión en % Vol.

HC = Hidrocarburos no combustionados en ppm/Vol.

CO2 = Anhídrido carbónico producido en % Vol.

NO = Óxidos de Nitrógeno en ppm/Vol.

Tabla 13.

Coefficiente de correlación

Model Summary									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.967	.935	.932	1.1696702	.935	37.188	4	86	.000
a. Predictors: (Constant), NO, O2, HC, CO2									

El modelo matemático alcanzó un coeficiente de determinación de 0.935 lo cual indica que le modelo se ajusta muy aceptablemente a la variable torque.

En la figura 31 se observa las dos curvas obtenidas superpuestas, la línea verde indica el

comportamiento del torque obtenido en el banco dinamométrico en función de las RPM, mientras que la línea amarilla indica el comportamiento de la ecuación 6.

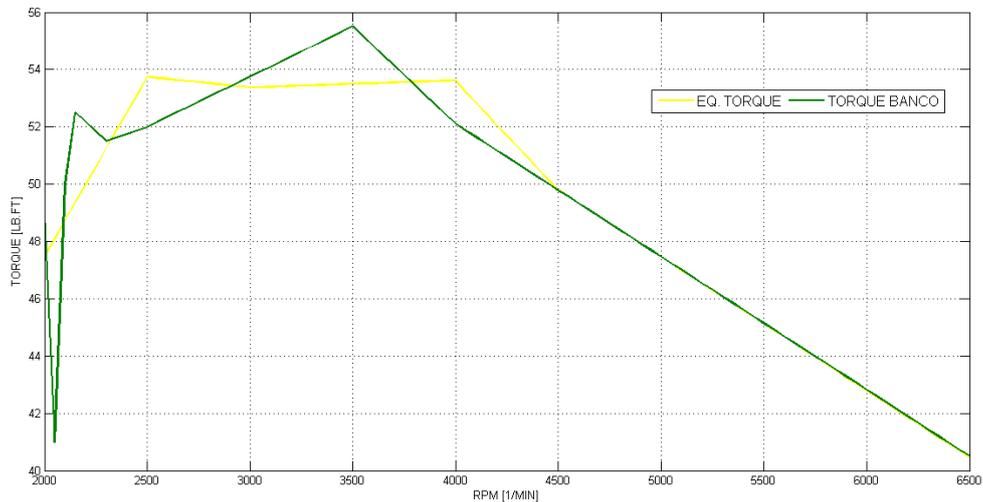


Figura 31. Torque del banco.

3.4. Diseño del control electrónico

El elemento de control se trata de una electroválvula cuyo solenoide trabaja a una tensión de 12 voltios y se debe accionar por un periodo máximo de 20 segundos para proteger los elementos internos de sellado de las bajas temperaturas provocadas por la expansión del anhídrido carbónico.

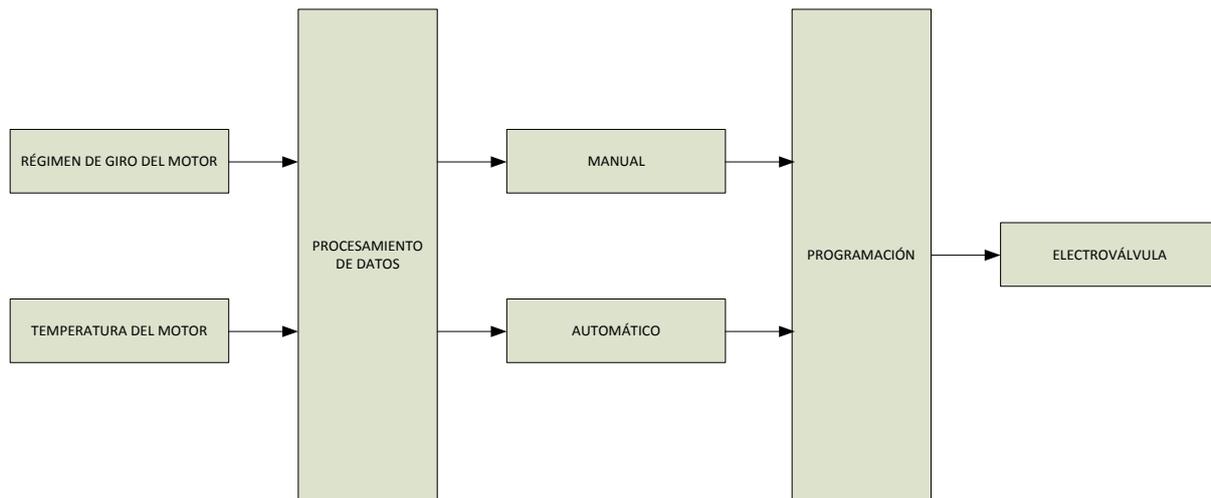


Figura 32. Esquema de bloques del sistema de control.

3.4.1. Control electrónico

El control eléctrico original del sistema CRYO2 consta de un switch fin de carrera ubicado al final del recorrido del acelerador este activa la electroválvula, también consta de un pulsador para purgar el sistema, en función de esto se diseñó un circuito de control electrónico capaz de generar señal pulsante para optimizar la duración del depósito de CO₂ bajo parámetros tomados de las señales de régimen de giro y temperatura del motor.

Dado el número y las características de las señales de entrada y salida se seleccionaron un microcontrolador ATMEGA328P y una interface gráfica mediante un display LCD, para permitir que el usuario seleccione dos modos de trabajo automático y manual además de informar los datos de régimen de giro y temperatura del motor.

La alimentación del solenoide de la electroválvula se controló mediante una etapa de potencia con microrelays utilizando optoacopladores para su activación.

Tabla 14.*Tabla de intensidades*

Descripción	Formula	Valor
Resistencia bobina electroválvula (r)		3.5 Ω
Resistencia bobina microrelay (r1)		70.8 Ω
Intensidad electroválvula (i)	$I = \frac{V}{R}$	3.42 A
Intensidad microrelay (i1)	$I1 = \frac{V}{R1}$	0.16 A
Resistencia pulsadores (r2)		10 k Ω
Intensidad pulsadores (i2)	$I2 = \frac{V}{R2}$	1.2 mA
Intensidad display lcd		2.5 mA
Intensidad microcontrolador		200 mA
Intensidad total (rt)		3.7837 A

Partiendo de la suma de las intensidades con un total de 3.7837A se estima un 100% adicional debido a las características capacitivas de algunos componentes los cuales generan picos de tensión e intensidad. Se utilizó un fusible de 10A para proteger el sistema contra cortocircuitos.

3.4.2. Régimen de giro del motor (RPM)

El vehículo posee un sistema de encendido transistorizado que opera mediante una señal analógica al polo negativo de la bobina, se debe procesar la señal para llevarle a estados lógicos antes de ingresar al microcontrolador y a partir de su periodo calcular el régimen de giro del motor.

A medida que se incrementa las RPM del motor el periodo de la señal disminuye

En modo automático el control electrónico activará la electroválvula solo cuando el motor

gire sobre 3000 revoluciones por minuto.

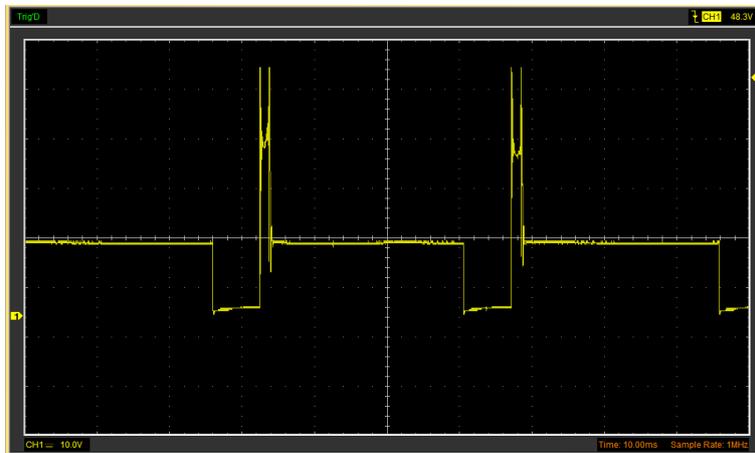


Figura 33. Oscilograma señal de encendido.



Figura 34. Punto de toma de señal

El primer filtro de procesamiento es un divisor de voltaje para mantener los valores de tensión dentro del rango de 0 a 5v.

Tabla 15.

Valores de componentes para divisor de tensión

Descripción	Formula	Valor
Resistencia 2 (r2)		1000 Ω
Resistencia 1 (r1)	$V_{out} = \frac{R2}{R1 + R2} (V_{in})$	$\approx 1400 \Omega$

Una vez obtenida la señal en niveles lógicos, se pudo procesar su frecuencia mediante un filtro paso bajo para eliminar los ruidos que se generan.

Tabla 16.

Valores de componentes para filtro paso bajo

Descripción	Formula	Valor
Capacitor		10nF
Frecuencia de corte		150Hz
Resistencia	$Fc = \frac{1}{2(\pi * R * C)}$	$\approx 150k\Omega$

En la figura 35 se observa el esquema para elaborar un filtro de paso bajo el cual se compone por un capacitor y una resistencia.

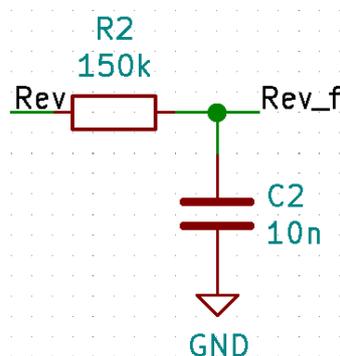


Figura 35. Esquema filtro paso bajo.

La figura 36 indica el oscilograma de la señal antes y después del procesamiento, se observa claramente cómo se lleva de un estado análogo a uno lógico.



Figura 36. Comparación señal antes y después del procesamiento.

Tabla 17.

Relación del régimen de giro del motor con el periodo

Periodo [us]	Frecuencia [Hz]	Régimen de giro [RPM]
31560	31.69	1000
17709	56.47	1500
12297	81.32	2000
9402	106.36	2500
7457	134.10	3000
6473	154.49	3500

A partir de los datos de los datos de la Tabla 17 se traza una curva de tendencia obteniendo una ecuación la cual se procesa por el microcontrolador y se indica el régimen de giro del motor en el display LCD.

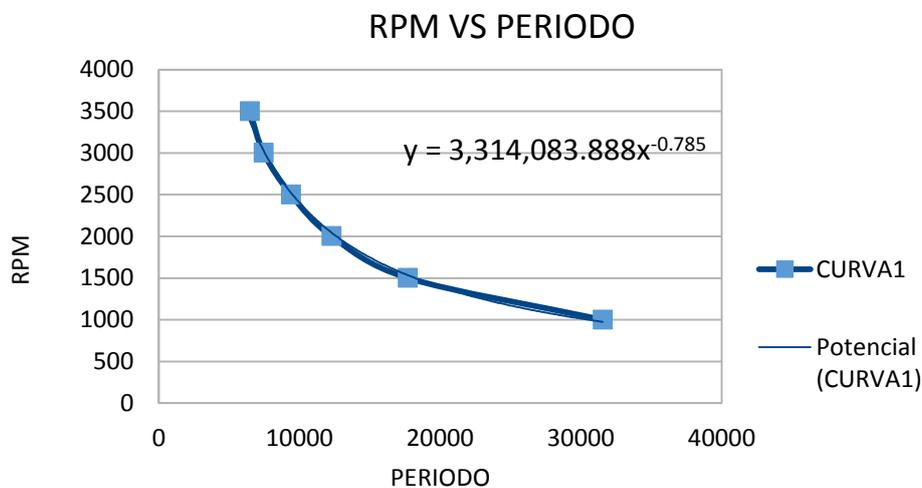


Figura 37. Curva de tendencia de la señal de encendido.

3.4.3. Temperatura del líquido refrigerante

La señal se toma del sensor de temperatura de refrigerante esta es analógica y lineal tipo termistor NTC, la misma debe procesarse a través de un divisor de voltaje para estar dentro del rango de procesamiento de señales analógicas del microcontrolador (0 – 5v).

En la figura 38 se capta el oscilograma de esta señal se concluye que el comportamiento de la misma es lineal lo que facilita la toma de datos para elaborar su ecuación de comportamiento.

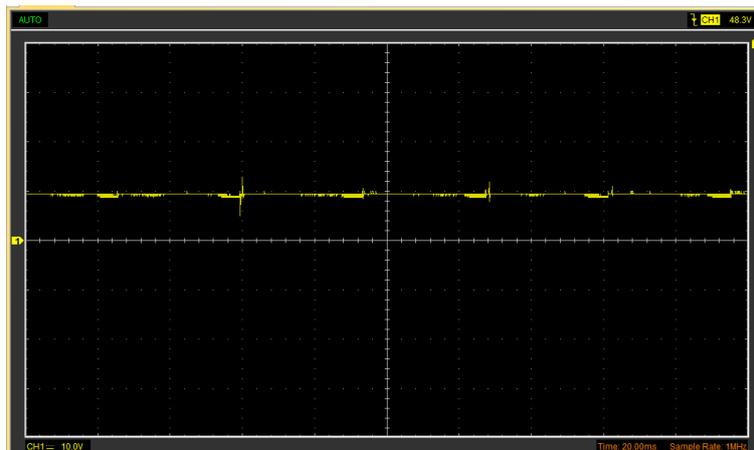


Figura 38. Oscilograma señal temperatura refrigerante.

El punto para captar la señal fue en paralelo a la conexión original del vehículo de prueba así se lo observa en la figura 39.



Figura 39. Punto de toma de señal

En este caso no hace falta un mayor procesamiento de señal basta con llevar el valor de su tensión a un nivel aceptable para el microcontrolador, para esto se empleó un circuito divisor de tensión.

De esta manera se concluyó que el sistema eléctrico del vehículo trabaja con una tensión nominal de 14v, el microcontrolador acepta un rango entre 0 y 5v utilizando una resistencia de 1k Ω se calcula el valor de la segunda resistencia.

Tabla 18.

Valores de componentes para el divisor de tensión

Descripción	Formula	Valor
Resistencia 2 (R2)		1000 Ω
Resistencia 1 (R1)	$V_{out} = \frac{R2}{R1 + R2} (V_{in})$	$\approx 1400 \Omega$

En la figura 40 se indica el esquema para elaborar un divisor de tensión fijo el cual se compone por un conjunto de tres resistencias conectadas en serie, la salida del voltaje se lo toma antes de la última resistencia.

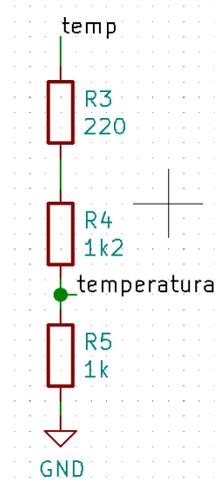


Figura 40. Esquemático divisor de tensión.

Tabla 19.

Relación de la temperatura del motor con el voltaje medido

Voltaje [V]	Div. Voltaje [V]	Temperatura [°C]
10.8	4.5	16
10	4.16	42

A partir de los datos de los datos de la tabla 19 se traza una curva de tendencia obteniendo una ecuación la cual es interpretada por el microcontrolador y se indica la temperatura del motor en el display LCD.

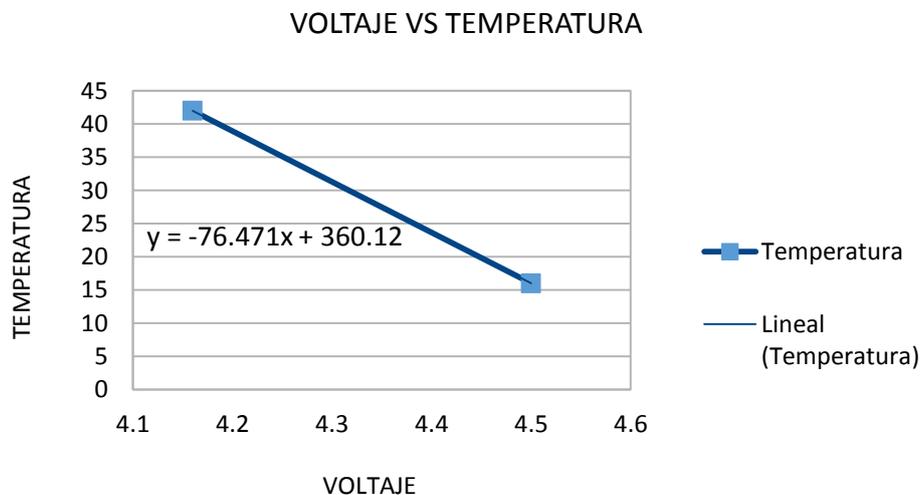


Figura 41. Curva de tendencia de la señal de temperatura.

3.5. Programación del microcontrolador en lenguaje C++

3.5.1. Interface gráfica mediante display LCD 16X2

Para reducir el número de pines de conexión de 6 a 2 entre el display LCD y el microcontrolador se utilizó un expander de entradas y salidas digitales controlado por I2C.

El protocolo I2C permite conectar varios dispositivos solamente mediante 2 cables, el uno para transmitir datos SDA, y el otro un reloj asíncrono para leer los datos SCL, además tierra y 5 voltios cuando sea necesario.

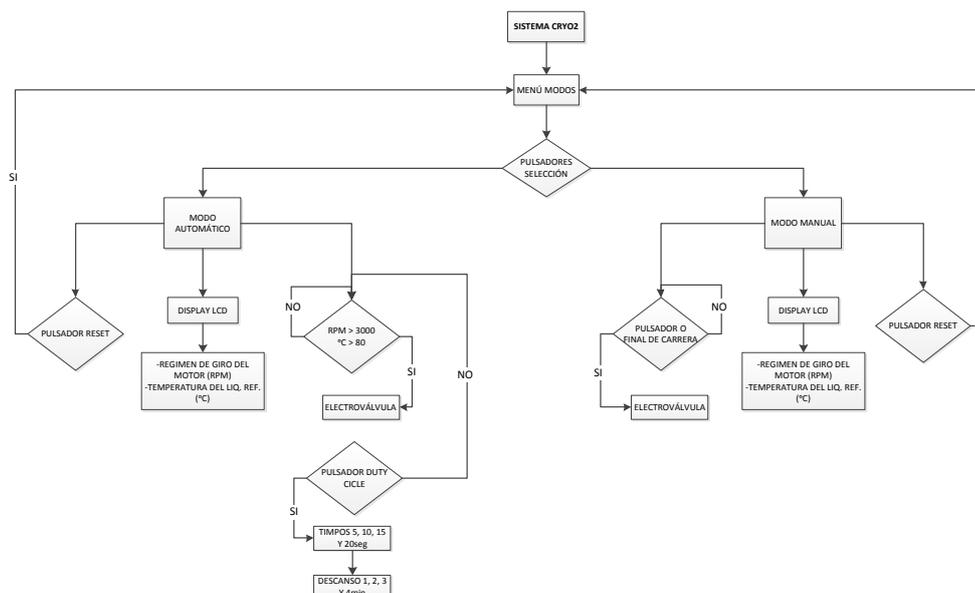


Figura 42. Diagrama de flujo programación.

En cuanto al entorno de programación es necesario el uso de una librería llamada <LiquidCrystal_I2C.h>, la función delay() no se uso, en su lugar se considero a millis(), la cual evita el parpadeo del display LCD, esto debido a que la función delay() interrumpe todos los programas que este ejecutando el microcontrolador mientras que la función millis() cuenta

los milisegundos desde que se encendió el microcontrolador permitiendo realizar interrupciones para la toma de señales.

Tabla 20.

Código para la interface gráfica

Código	Descripción
<code>#include <LiquidCrystal_I2C.h></code>	Librería para manejar el módulo I2C
<code>LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);</code>	Indica al módulo I2C que se su dirección está en el puerto 0x27 y que se utilizó un display 16x2
<code>millisActual = millis();</code>	Inicia el conteo de milisegundo y los almacena en la variable (millisActual)
<code>if(millisActual - millisAnterior > intervalo){</code>	Se compara el tiempo de la última vez que se actualizo el display y se deja pasar el tiempo almacenado en intervalo (200ms)
<code>millisAnterior = millisActual;</code>	Se almacena el tiempo en el cual se actualizo el display en la variable (millisAnterior)

3.5.2. Muestreo de señal analógica (Temperatura del líquido refrigerante)

Se utiliza el conversor análogo – digital del microcontrolador el cual trabaja con una resolución de 10 bit y una frecuencia de muestreo de aprox. 9kHz, se fijó un periodo de adquisición de datos de 5ms variable `unsigned long intervaloLec` la cual se almacena en un arreglo “array” de 20 posiciones y se determina un promedio el cual mediante la ecuación de tendencia de la curva Voltaje vs Temperatura se calcula la temperatura del líquido refrigerante y se manda a imprimir en el display LCD.

Tabla 21.

Código para la adquisición de la señal de temperatura del líquido refrigerante

Código	Descripción
<code>if(millisActual - millisAnteriorLec >= intervaloLec){</code>	Función que permita realizar interrupciones sin el uso de delay()
<code>millisAnteriorLec = millisActual;</code>	
<code>lecturas[indiceLecturas] analogRead(termostato);</code>	= Guarda en el arreglo de valor en bits del puerto analógico (temp. Refrig.)
<code>total = total + lecturas[indiceLecturas];</code>	Suma los valores de el arreglo y lo almacene en la variable (total)
<code>indiceLecturas = indiceLecturas + 1;</code>	Cuenta el número de lecturas
<code>if(indiceLecturas >= numLecturas) {</code>	Compara el número de lecturas con las 20 ubicaciones del arreglo

CONTINÚA →

Código	Descripción
promedio = total / numLecturas;	Calcula el promedio
indiceLecturas = 0;	Vuelve a cero el número de lecturas
total = 0;	Vuelve a cero la suma de valores del arreglo
}	
}	
temperatura = 189.167 - 0.167 * promedio;	Calcula la temperatura en función de la ecuación de tendencia de la curva VOLTAJE-TEMPERATURA

3.5.3. Muestreo de señal digital (Régimen de giro del motor)

A partir del cambio de estado de la señal se podrá determinar el periodo de la misma en microsegundos mediante el uso de la función `micros()` el cálculo del régimen de giro de motor se realiza a través de la ecuación de tendencia de la curva RPM vs Periodo indicada en la figura 37.

Tabla 22.

Código para la adquisición de la señal de régimen de giro del motor

Código	Descripción
if(estadosLector != ultimoEstadoLector){	Detecta cuando se produce un cambio en el estado de la señal
if(estadosLector == HIGH){	Detecta cuando se produce un cambio en el estado de la señal a alto
tiempo1 = micros();	Guarda el tiempo en ms en el cual se realizó el cambio de estado a alto mediante el uso de la función <code>micros()</code> la cual almacena el tiempo en ms desde que se encendió el microcontrolador.
}	
else {	
tiempo2 = micros();	Almacena el tiempo en ms en el cual se realizó el cambio de estado a bajo
tiempo = tiempo2 - tiempo1;	Se calcula el periodo de la señal mediante la diferencia de estos dos valores
if (tiempo > 2100 && tiempo < 4500) {	Para disminuir los ruidos se establece un rango entre 2100 y 4500us
velMotor = 3314083.89 * pow(tiempo, -0.785);	Se calcula el régimen de giro de motor mediante la ecuación de tendencia de la curva RPM-PERIODO
}	
else{	
velMotor = 0;	Se encera el valor del régimen de giro del motor
}	
}	
}	

3.5.4. Modo Automático

En este modo se genera una señal pulsante para activar la electroválvula la misma se puede modular en su ancho de pulso en lapsos de 5 segundos hasta un máximo de 20 segundos, de igual manera se puede modificar el tiempo de descanso en lapsos de 1 minuto.

Solamente se activará esta señal si los parámetros de temperatura y régimen de giro de motor son iguales o superiores a 80°C y 3000RPM.

En el display se visualiza la temperatura del refrigerante, el régimen de giro del motor además de los tiempos de inyección y de descanso así se lo indica en la figura 43.



Figura 43. Funcionamiento del circuito en modo automático

Tabla 23.

Código para el funcionamiento del modo Automático

Código	Descripción
<code>if (tiempo < 6180 && tiempo > 3920) {</code>	Compara el régimen de giro del motor
<code>aux6 = 1;</code>	Si las RPM son de alrededor de 3000 asigna el valor de 1 a la variable (aux6)
<code>if (temperatura >= 60) {</code>	Condiciona la temperatura del refrigerante
<code>if(aux0 == 1){</code>	Pregunta si se ha seleccionado el modo automático

CONTINÚA →

Código	Descripción
if (aux6 == 1) {	Si cumple el régimen de giro mínimo
if(millisActual - millisAnteriorIny > intervaloInyeccion && estadoInyector == 1){	Evalua el tiempo transcurrido desde que se encendió el microcontrolador, la variable (intervaloInyección tiene como valor 1000ms
millisAnteriorIny = millisActual;	Guarda el tiempo en una variable (millisAnteriorIny)
tiempoInyeccion++;	Cada segundo transcurrido suma 1 a la variable (tiempoInyección)
if (tiempoInyeccion > aux3) {	Coteja el tiempo que se ha activado la electroválvula con el tiempo seleccionado 5, 10, 15 o 20 segundos si este es igual
estadoInyector = 0;	Desconecta la electroválvula
tiempoInyeccion = 0;	Encera la variable (tiempoInyección)
}	
}	
}	

3.5.5. Modo Manual

Este modo de funcionamiento permite la activación de la electroválvula ya sea a través del pulsador para purgar el sistema o por el switch fin de carrera al presionar el pedal del acelerador hasta el final de su recorrido.

En el display se visualiza la temperatura del refrigerante y el régimen de giro del motor.



Figura 44. Funcionamiento modo manual

CAPÍTULO IV

4. SISTEMA DE INYECCIÓN DE ANHÍDRIDO CARBÓNICO

Los análisis de temperatura, emisión de gases contaminantes, pruebas de torque y potencia se realizaron con la cámara termográfica FLUKE TiS60, analizador de gases Brian Bee AGS-688, Dinamómetro de rodillos DYNO-MAX “PRO” respectivamente, considerando varios parámetros tanto en la toma e interpretación de datos, se consideró; Los infrarrojos presentes en la captura de imágenes termográficas, temperatura y revoluciones del motor en las pruebas de emisiones, finalmente las prestaciones del motor para la prueba del dinamómetro.

4.1. Medición de Temperatura

Es factible mediante la cámara termográfica FLUKE TiS60, que requiere de varias consideraciones previas para su correcto uso; Minimizando por completo los errores por parte del operario.

4.1.1. Manipulación y ajuste del Equipo

La cámara Termográfica FLUKE TiS-60 obtiene mejores imágenes al tomar en cuenta ciertos parámetros de funcionamiento de la misma, tales como:

- Emisividad (De acuerdo al tipo de material a medir)

- Luminosidad (En función del sitio donde se realizó la medición)
- Valores (Unidades de medida de la temperatura °F o °C)
- Distancia de enfoque

Casi en su totalidad estos datos (excepto la luminosidad que debe ser tomada en cuenta para evitar errores de medición) son manipulables dentro del menú que ofrece la cámara, existe un modo automático que facilita la manipulación de la misma.

Su láser incorporado, permite enfocar perfectamente el objeto a medir, de activación manual, funciona paralelamente con la toma de imágenes, está ubicado sobre el botón que captura las fotos termográficas.

4.1.2. Procedimiento de toma de datos termográficos

Se tomaron datos termográficos en 9 diferentes puntos a lo largo del recorrido de anhídrido carbónico como se puede apreciar en la figura 41 (Reservorio de CO₂ (A), salida del reservorio de CO₂ (B), ingreso al bulbo metálico (C), solenoide o válvula de activación (D), Bulbo metálico (E), entrada al carburador (F), salida del bulbo metálico (G), entrada a encamisado (H), salida de encamisado(I)) desde su lugar de almacenamiento hasta la parte final del kit de inyección.

Con la ayuda de la cámara termográfica FLUKE TiS60 se observó cada uno de los cambios de temperatura generados en cada punto, en condiciones estándar del motor y posterior a la inyección de anhídrido carbónico en la admisión y entrada de combustible, bajo

los tiempos de activación y descanso ya definidos.

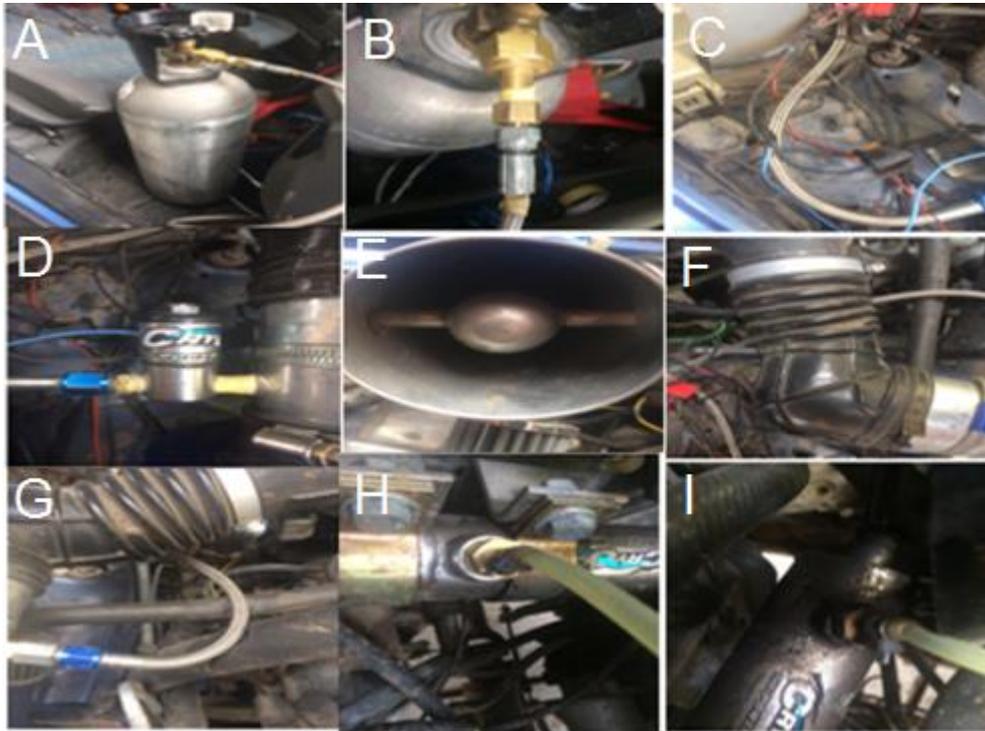


Figura 45. Puntos de Análisis Termográficos

4.2. Emisiones de gases Contaminantes

Las emisiones que se analizaron en la investigación son: Monóxidos de Carbono (CO), Dióxidos de Carbono (CO₂), Oxígenos (O₂) e Hidrocarburos no combustionados (HC).

4.2.1. Manipulación y ajuste del Equipo

Previo al encendido del analizador de gases Brain Bee AGS-688, es imprescindible una inspección visual al conjunto de filtros de gases que esta posee, se debe verificar que todos se encuentren libres de impurezas pronunciadas que puedan averiar el equipo, estos son

intercambiables conforme su deterioro lo requiera.

Esta máquina empieza su correcto funcionamiento previo a una prueba de “estanqueidad” que analiza si el sistema no posea fugas, que incurren en futuros errores de medición. Al superarla el equipo podrá operar sin ninguna anomalía en sus distintos modos de uso, el fabricante ofrece normas de calibración que se detallan en el anexo A.

4.2.2. Procedimiento de prueba de emisiones de gases contaminantes

a. Test oficial

Una vez realizada la prueba de estanqueidad (análisis obligatorio y propio del equipo) se puede continuar con la opción que se desee, en este caso “TEST OFICIAL”.



Figura 46. Menú Principal

Seleccionada esta opción es necesario ingresar los datos del vehículo que realizará la prueba, al culminar se puede avanzar al pulsar la tecla F2 o hacer clic sobre el ítem que muestra la misma.

TEST OFICIAL - DATOS DE VEHICULO		PARA SALIR	ESC
PLACA	: GKP-0607		F1
MARCA	: SUZUKI		F1
MODELO	: SAMURAI		F2
No. CHASIS	: SJ80-122433		F2
ODÓMETRO	: 97300		F3
PRIMER COMBUSTIBLE	: GASOLINA		F3
SEGUNDO COMBUSTIBLE	: NO PRESENTE		F4
No. TUBOS DE ESCAPE	: 1		F4
No. TIEMPOS	: 4		F5
No. CILINDROS	: 4		F5
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	: 1998		F6
			F6
			F7
			F7
			F8
			F8

Figura 47. Ingreso de datos del vehículo

Cuando los datos hayan sido ingresados correctamente el proceso continua, así el equipo muestra los límites oficiales que se aceptan en este test para que el vehículo apruebe el mismo.

TEST OFICIAL - LIMITES DE PRUEBA		PARA SALIR	ESC
<u>LIMITES OFICIAL</u>			
TEMPERATURA MOTOR	: 80		F1
RÉGIMEN RALENTI			
CO max	: 4.5 [%Vol]		F2
HC max	: 750 [ppmVol]		F2
O2 max	: 5.0 [%Vol]		F3
RPM	: 500 min 1200 max		F3
RÉGIMEN RALENTI ACCELERADO			
CO max	: 4.5 [%Vol]		F4
HC max	: 750 [ppmVol]		F4
O2 max	: 5.0 [%Vol]		F5
RPM	: 2400 min 2600 max		F5
			F6
			F6
			F7
			F7
			F8
			F8

Figura 48. Límites permisibles

La máquina hará un test residual de HC y evaluación de la temperatura del motor (la cual se debe encontrar mínimo a 80°C) para poder arrancar con la medición.



Figura 49. Test de HC Residual y prueba de temperatura

Tan pronto el motor eleve su temperatura a 80°C la prueba empieza, al desplegarse en la pantalla la opción de insertar la sonda en el tubo de escape la toma de datos se inicia, en ralentí y en un régimen de 2400 a 2600 rpm, estas pruebas tendrán una duración de 20 segundos cada una.



Figura 50. Medición en Test Oficial

b. Prueba Continua

Par esta prueba se selecciona (con un clic o pulsando sobre F1) el apartado de prueba continua.



Figura 51. Continua

En esta prueba el equipo de medición empieza de inmediato la toma de datos, antes de imprimir el informe con la opción F1, es posible ingresar los datos del vehículo que se analizó pulsando F3.

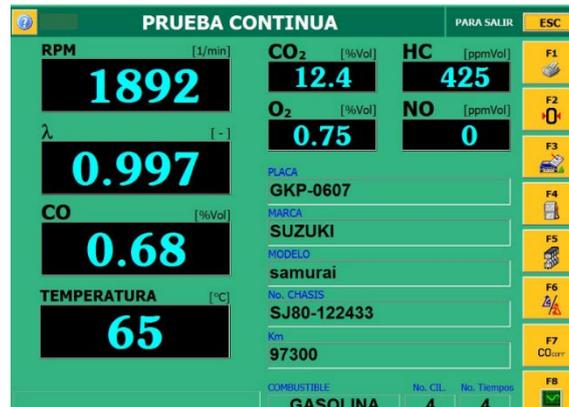


Figura 52. Valores en Prueba Continua

4.3. Torque y Potencia

4.3.1. Manipulación y Ajuste del Equipo

El Dinamómetro de Rodillos DYNO-MAX “PRO” requiere de un chequeo pre-encendido, donde se verifica que los componentes mecánicos del mismo se encuentren

funcionales, así ambos rodillos deben girar sin mayor fricción, los puntos de anclaje al vehículo deben estar fijos y las fajas que lo sostienen no deben presentar fisuras.

Encendido el equipo se debe conectar una interfaz de medición que aporta con datos de la mezcla aire/combustible en tiempo real al mismo.

4.3.2. Procedimiento para la Prueba de Torque y Potencia

Al colocar las ruedas motrices del vehículo sobre los rodillos y asegurarlo en su totalidad, se mide el diámetro de las ruedas (dato necesario en el equipo de medición) se realizará una prueba de calibración para equiparar las revoluciones tomadas por el vehículo, con las que censa el equipo.



Figura 53. Medición del diámetro de las ruedas motrices.

Tras el ajuste e ingreso de los datos del propietario, es necesario digitar la marca y modelo del vehículo, cilindraje, disposición de la tracción, potencia, par de torsión anunciada (obtenidos en el manual del vehículo); La carrera, relación de compresión se calculan cuando

los datos culminan si validación en el equipo. Existe un apartado de notas encargado de identificar la diferencia entre pruebas (si existe algún aditamento agregado al vehículo).

Las condiciones meteorológicas también son tomadas en cuenta para la prueba, el Dinamómetro de Rodillos DYNO-MAX “PRO” posee una estación propia que registra los datos de temperatura , densidad , humedad relativa sin embargo estos también pueden ser ingresados de forma manual, usualmente se trabajan con datos precargados de acuerdo a la ubicación de la máquina.

Existen apartados adicionales que permiten diferenciar el tipo de combustible a utilizar, si existe alguna modificación del motor o sus sistemas entre otros los cuales no fueron utilizados para esta medición.

Finalmente se conecta la sonda hacia el tubo de escape del vehículo para monitorear la cantidad de mescal aire/ combustible presente en el motor durante la prueba.

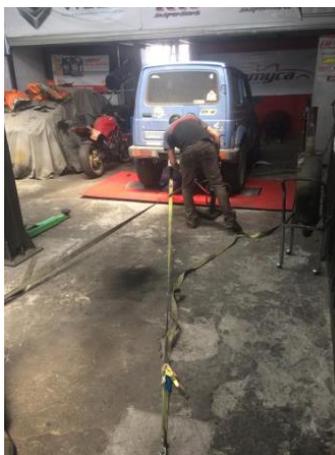


Figura 54. Inserción de la Sonda al tubo de escape del vehículo

4.4. Condiciones de seguridad del entorno

4.4.1. Seguridad de los operarios

El equipo de protección personal “EPP” es obligatorio por esta razón, se tomó en consideración para todas las pruebas de medición al igual que en la recolección de datos, así las gafas, botas de seguridad, casco y guantes se utilizaron para realizar las pruebas.

4.4.2. Lugar de Trabajo

Sitio que cumple los parámetros estructurales necesarios, ofrece un compendio completo de servicios, además de herramientas necesarias para realizar las pruebas y toma de datos correspondientes, evitando al máximo accidentes que pueden generarse.

4.4.3. Meteorológicas

La fiabilidad en el proceso de toma de datos incide mucho en las condiciones ambientales en que se ejecutaron, los datos meteorológicos fueron obtenidos de fuentes fiables y de fácil acceso como los brindados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Las pruebas termográficas fueron viabilizadas en la noche, debido a que los rayos solares y luminosidad propia del día dificultaban la obtención de datos confiables.

Las mediciones de emisiones de gases se hicieron en horarios similares, en días que

ofrecieron condiciones climáticas favorables a fin de obtener datos precisos.

En el caso de las pruebas desarrolladas en el dinamómetro, bastó de un día en horario matutino donde se cumplió con esta prueba sin mayor dificultad.

4.5. Adecuación del vehículo previo a las pruebas

Fue factible al realizar una reparación integral del motor, posterior a la cual se siguió un plan de mantenimiento establecido en el manual de taller del vehículo de prueba mostrado en el Anexo B en donde se realizaran las acciones establecidas de acuerdo al cuenta km o por meses dependiendo de cuál se cumplió primero.

4.5.1. Termográficas

La toma de datos termográficos fue realizada con una luminosidad de 0.0001 lux (se aprovecharon las condiciones que brinda la noche para evitar distorsión en la captura de imágenes), el motor del vehículo alcanzó una temperatura de funcionamiento estable (entre 70 °C y 80 °C), se mantuvo un régimen de giro equilibrado (entre 3500 a 5000 r.p.m) constante en todo el transcurso de las pruebas.

4.5.2. Emisiones

Ya sea en test oficial o continuo, el vehículo debe ubicarse en un lugar con buena ventilación, las pruebas se llevarán a cabo bajo condiciones estándar de funcionamiento del

motor (temperatura de funcionamiento estable entre 70°C y 80°C) y al inyectar anhídrido carbónico (para ambos casos el régimen de giro del mismo fue entre 3500 a 5000 r.p.m) con cada uno de los tiempos de inyección/descanso respectivos, con el equipo de medición citado para este fin.

4.5.3. Torque y Potencia

Al igual que en las pruebas anteriores un parámetro importante es la temperatura de funcionamiento estable (entre 70°C y 80°C), la banda de rodadura del neumático debe encontrarse en buenas condiciones para que venza la fricción de los rodillos y los mueva con facilidad.

El tacómetro o medidor de revoluciones del vehículo es imprescindible para registrar el corte de aceleración hasta el cual se efectuará la prueba.

4.6. Tabulación de datos en condiciones estándar el motor

4.6.1. Imágenes Termográficas

Tomadas en condiciones estándar a un régimen de giro del motor elevado (entre 3500 a 5000 r.p.m) por periodos de tiempo de 1 a 4 minutos, la toma de imágenes con la cámara termográfica FLUKE TiS-60 se realizó en intervalos de tiempo de 30 segundos, obteniendo los siguientes resultados detallados en la tabla 24.

Tabla 24.*Toma de Temperaturas en condiciones estándar del motor*

Punto de Medición	Prueba 1		Prueba 2				Prueba 3						Prueba 4							
	TEMP [°C]		TEMP [°C]				TEMP [°C]						TEMP [°C]							
	1	2	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8
Reservorio CO2	18.8	18	18,3	16,3	14,2	13,8	13,5	15,4	16,3	15,3	16,1	15,4	4,8	13,9	15,7	15,2	13,3	14,2	15,3	14,5
Salida de Reservorio CO2	19.5	18.9	24,8	23,3	20,2	18,6	18,2	17,9	17,5	18,1	17,4	16,8	18	12,8	14,1	14,3	14,1	13,9	13,7	14,5
Entrada a Bulbo Metálico	24.3	23	34,5	28,9	27	24,9	26,3	23	24,1	25,6	24,2	23	30	27,6	24,3	20,8	20,4	19,9	19,5	18,4
Solenoide	25.4	24.8	23,5	22,2	20	19,6	18,6	17,9	16,5	18	16,1	19,9	20	16,3	18,1	16,9	20,7	20,2	19,1	18,5
Bulbo Metálico	17.3	20.5	20,5	19,9	19,7	18,6	18,8	19,1	16,6	17	19,1	17,3	17	17,1	16,9	17,4	17,5	17,9	19,3	18,5
Entrada a Carburador	28.5	24.7	30,7	28,5	25	23,5	27,6	27,9	26,8	26,1	26,7	25,7	24,8	24,2	25	25,4	23,9	24,4	23,8	24,2
Salida de Bulbo Metálico	30.5	30	40,2	38,7	36	34,1	39,8	39,7	38,4	38,9	37,9	37,5	37,8	36,8	40,1	39,4	36,6	37,8	37	39,6
Entrada a Encamisado	38.6	36.2	35,2	35,7	36,4	34,7	36,9	35,7	36,2	36,1	35,9	36,4	35,7	35,8	36,1	35,8	35,5	35,7	36,8	36
Salida de Encamisado	40.2	39.7	38,9	37,1	37,6	38	42,9	44,2	44,6	46,3	41,9	41	46,3	41,9	42,1	42,6	41,4	41,7	41,1	43,1

Tras las mediciones en condiciones normales de funcionamiento del motor, se evidencio en la figura 55 en el reservorio de anhídrido carbónico (CO₂) descensos de temperatura en la primera y segunda prueba, con variaciones porcentuales decrecientes de 4.44% y 24.59 % respectivamente, la tercera se comportó de manera ascendente en todas sus mediciones, obteniendo al final de los 3 minutos 19.25 % crecientes, en último registro de valores estos permanecieron fluctuando, elevándose en 2.70 % hasta llegar incluso a decaer en 8.78 %, se estabilizo entre el punto inicial y final de medida cerrando la misma con 2.02% decrecientes.

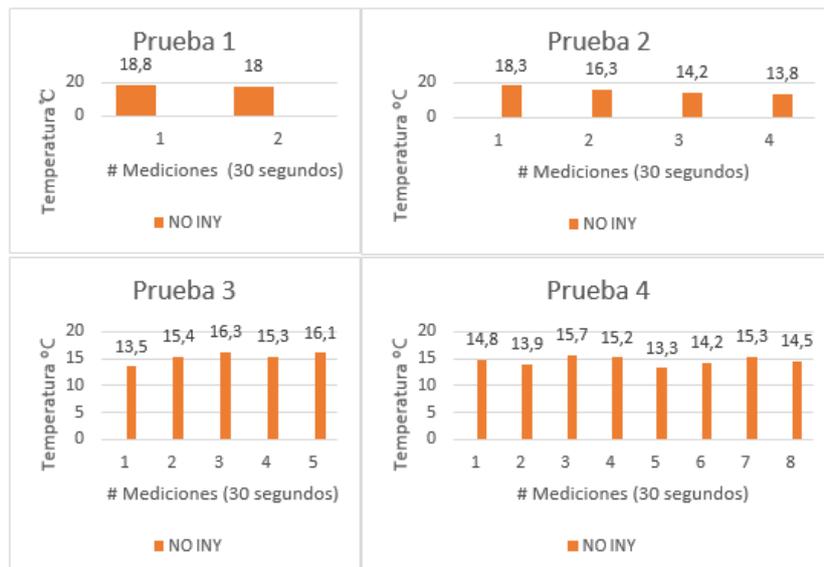


Figura 55. Temperaturas en el reservorio de CO₂ (Condiciones Estándar)

La salida del reservorio de anhídrido carbónico en la figura 56, muestra variaciones porcentuales decrecientes en todas las pruebas realizadas, con valores de 3.07 %, 25%, 4.39 % y 19.44% respectivamente entre los valores inicial y final de cada una de las pruebas realizadas; la segunda prueba muestra el mayor descenso de temperatura.

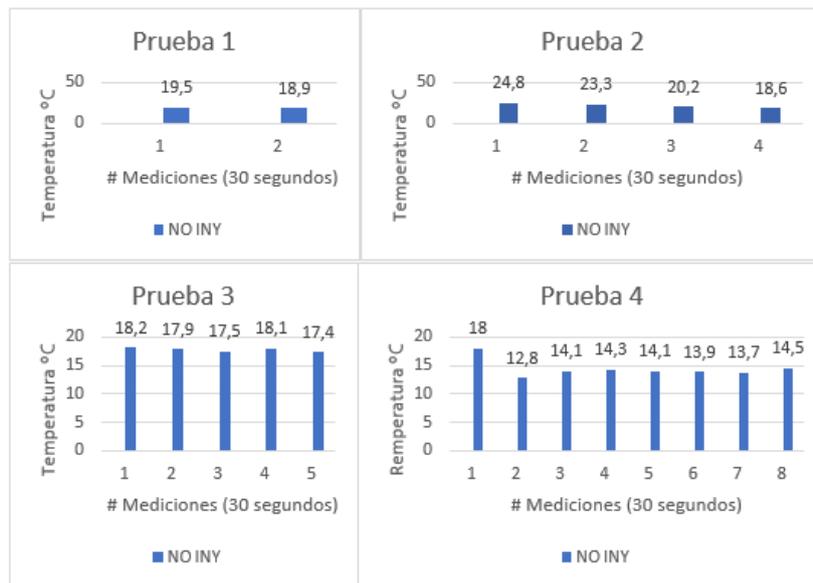


Figura 56. Temperaturas a la salida del reservorio de CO2 (Condiciones estándar)

La toma de temperaturas es similar en este punto, al de la salida del reservorio de CO2, antes de llegar al solenoide, todas las temperaturas descienden a lo largo de la medición en variaciones porcentuales de 5.34%, 27.82%, 7.98% y 38.66% siendo la última prueba la que empieza en un valor sumamente elevado en comparación al que registra al final (de 30 a 18.4 °C).

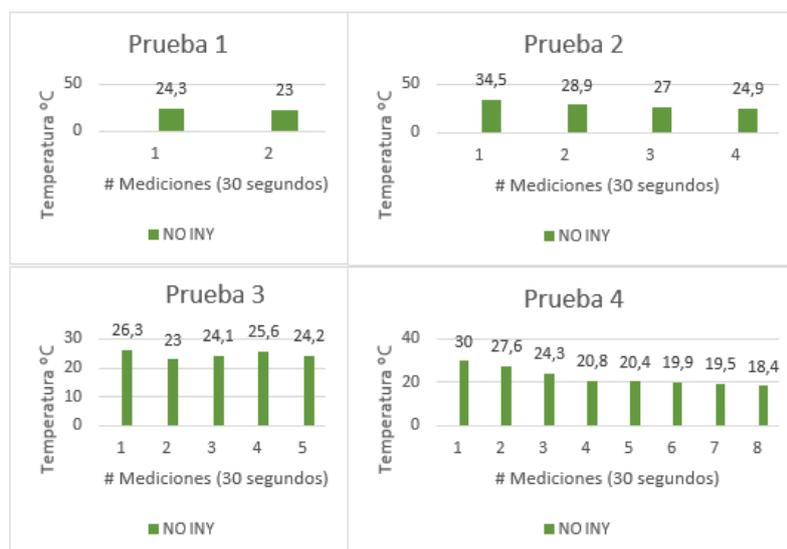


Figura 57. Temperaturas a la entrada del bulbo metálico (condiciones estándar)

La tendencia al decremento de temperaturas a lo largo la toma de valores continua, en el solenoide se registraron bajas de temperatura en las tres primeras pruebas al obtener los siguientes porcentajes: 2.36%, 16.59%, 13.44% ; ultima presento un comportamiento diferente pues alcanzo un crecimiento en su temperatura en la quinta y sexta medición con variaciones porcentuales de 3.5 y 1%, finalmente la tendencia se mantuvo, pues termino en 7.5% de descenso en su temperatura respecto al punto inicial.

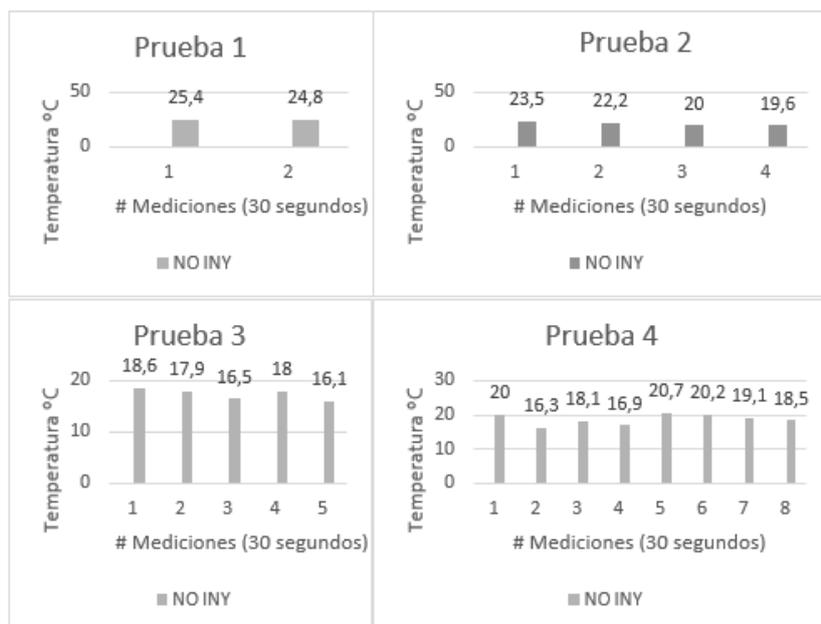


Figura 58. Temperaturas en el solenoide (Condiciones estándar)

A diferencia de los puntos de medición anteriores, en la mayor parte de las pruebas que se hicieron al bulbo metálico se evidencio un incremento de temperatura con el pasar del tiempo excepto en la segunda (en la que se obtuvo 9.26% de decremento), así se registró: 17.81% en la primera, 1.59 % en la tercera y 8.82 % en la cuarta prueba.

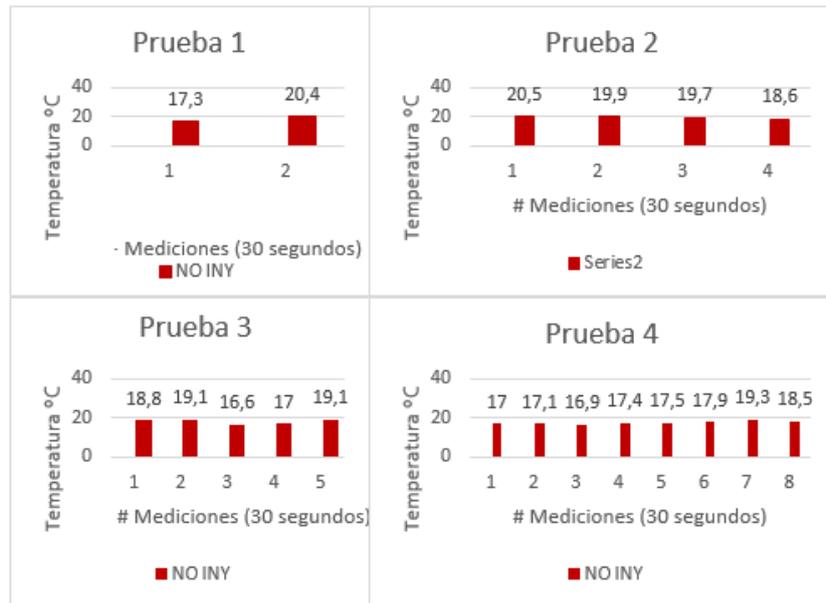


Figura 59. Temperaturas en el bulbo metálico (Condiciones estándar)

La entrada al carburador retomó el comportamiento decreciente a lo largo de sus mediciones, se calculó una variación porcentual de 13.33 %, 23.45 %, 3.26 % y 2.41% en cada una de las pruebas, la tercera prueba en su segunda medición aumento su temperatura en 1.08 %.

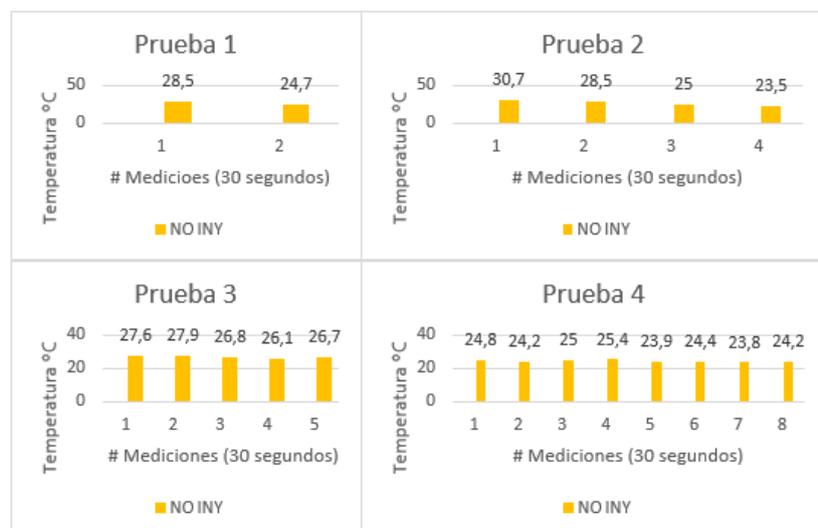


Figura 60. Temperaturas a la entrada del carburador (Condiciones estandar)

En la salida del bulbo metálico se encontró un decremento de temperaturas en las tres primeras pruebas con variaciones porcentuales de: 1.63%, 15.17% y 4.77%; La cuarta prueba reflejo un incremento de temperatura con 4.76%.

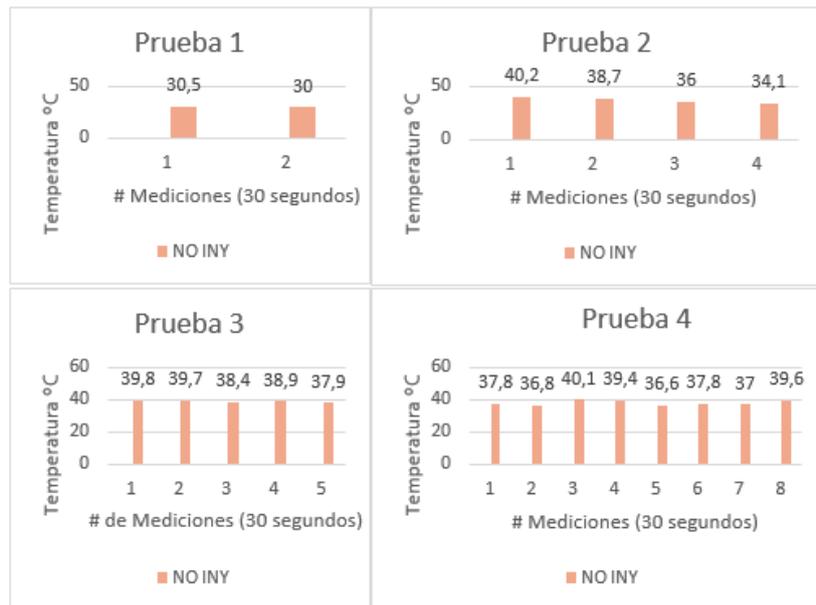


Figura 61. Temperaturas a la Salida del bulbo metálico (Condiciones estándar)

Similar a el punto de análisis anterior, la entrada al encamisado metálico, presento decremento en su temperatura con variaciones porcentuales en tres de sus pruebas con valores: 6.62 %, 1.20%, 2.71%, se evidencio un incremento de 2.85 % en restante.

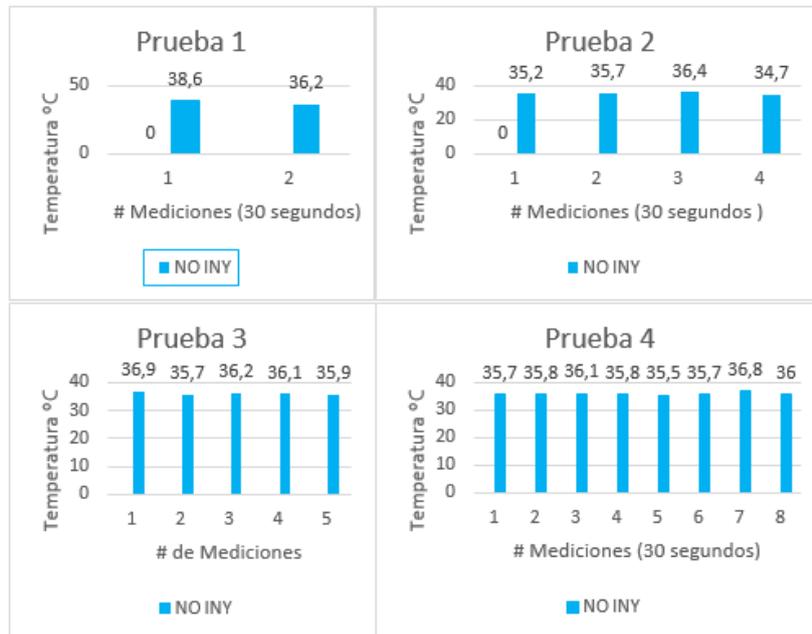


Figura 62. Temperaturas a la entrada del encamisado metálico (Condiciones estandar)

El noveno punto de medición a lo largo del recorrido de anhídrido carbónico presenta un decremento de temperatura en todas las mediciones realizadas con variaciones porcentuales de 1.25%, 2.31%, 2.33%, 6.91%, representando la cuarta prueba la que más variación de temperatura tuvo en comparación con las otras mediciones.

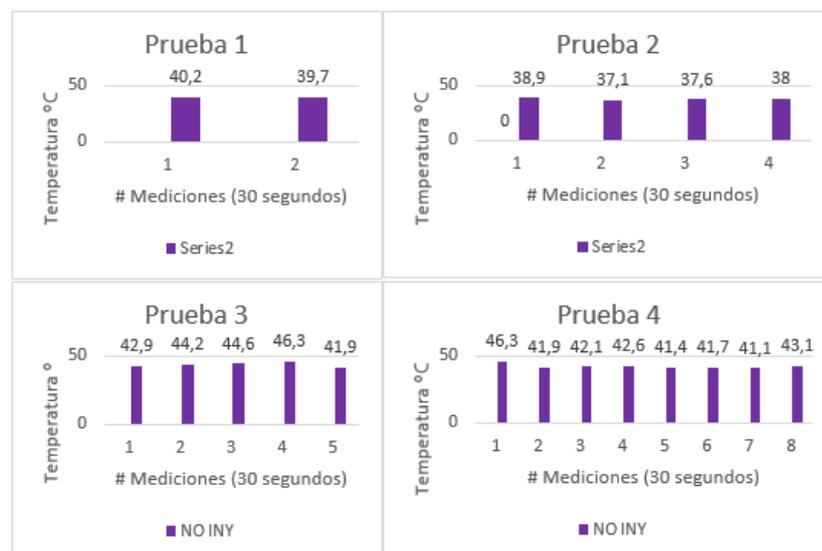


Figura 63. Temperaturas en la salida del encamisado metálico (Condiciones estándar)

4.6.2. Emisiones de Gases de escape

a. Test Oficial

Los resultados se muestran en la siguiente figura, en la que el vehículo aprobó el test con falta tipo 2.

DATOS DEL VEHICULO			
Placa	: GKP-0607	No. Chasis	: SJ80-122433
Marca	: SUZUKI	No. Tubos de Escape	: 1
Modelo	: SAMURAI	2 Tiempos / 4 Tiempos	: 4
Año de Construcción	: 1998	Odómetro	: 97249
Combustible	: GASOLINA		
LIMITES PRESCRITOS			
Temperatura Motor	: 80 [°C]		
Régimen Motor al Mínimo	: 500 - 1200 [1/min]	Régimen Motor en Aceleración:	2400 - 2600 [1/min]
O2	: 5.0 [%Vol]	CO	: 4.5 [%Vol]
		HC	: 750 [ppmVol]
VALORES MEDIDOS			
PRUEBA AL MINIMO		PRUEBA EN ACELERACIONE	
Temp. Motor	: 80 [°C]	Temp. Motor	: 80 [°C]
RPM	: 1030 [1/min]	RPM	: 2490 [1/min]
CO	: 2.57 [%Vol]	CO	: 4.37 [%Vol]
CO2	: 12.5 [%Vol]	CO2	: 11.9 [%Vol]
O2	: 1.77 [%Vol]	O2	: 0.55 [%Vol]
HC	: 367 [ppmVol]	HC	: 232 [ppmVol]
Lambda	: 0.991 [-]	Lambda	: 0.893 [-]
RESULTADO DEL TEST : APROBADO CON FALTA TIPO 2			
Fecha y hora de inicio prueba	: 07/05/2019	09:19:43	
Fecha y hora de termine prueba	: 07/05/2019	09:24:01	
Examinador	: Edwin Ramos		
			Firma

Figura 64. Test Oficial al vehículo Suzuki Samurai motor G13

b. Prueba Continua

Proporciona valores de los gases de escape a regímenes de giro del motor elevados (de 3500 a 5000 r.p.m) con una toma de tiempos en intervalos de 10 segundos, los resultados obtenidos se expresan en las siguientes tablas.

Tabla 25.

Prueba Continua 1 de emisiones de gases de escape en condiciones estándar

Prueba de emisiones de gases en Condiciones Estándar						
Prueba: 1						
Tiempo de Inyección: 0 segundos						
Tiempo de Descanso: 1 minuto						
Intervalo de tiempos en la toma de datos: 10 Segundos						
NOMBRE	1	2	3	4	5	6
RPM [1/min]	4480	4500	4530	4530	4520	4510
LAMBDA [-]	0,933	0,901	0,894	0,887	0,886	0,885
CO [%Vol]	3,59	4,39	4,43	4,56	4,57	4,57
TEMP [°C]	80	81	83	84	85	86
CO ₂ [%Vol]	11,9	11,5	11,5	11,4	11,3	11,2
O ₂ [%Vol]	1,03	0,83	0,68	0,59	0,58	0,58
HC [ppm/Vol]	232	253	237	231	230	229
NO [ppm/Vol]	249	258	262	265	266	266

Tras la toma de datos se observa en la figura 60 el valor máximo de Óxido de Carbono es 4.57 % de volumen en las dos últimas mediciones a 4520 y 4510 r.p.m respectivamente, por otra parte el Dióxido de Carbono se mantiene equilibrado con un valor máximo de 11.9 % de volumen a 4480 r.p.m, finalmente el Oxígeno registrando su mayor valor al inicio de la medición 4480 r.p.m dando 1.03 % de volumen

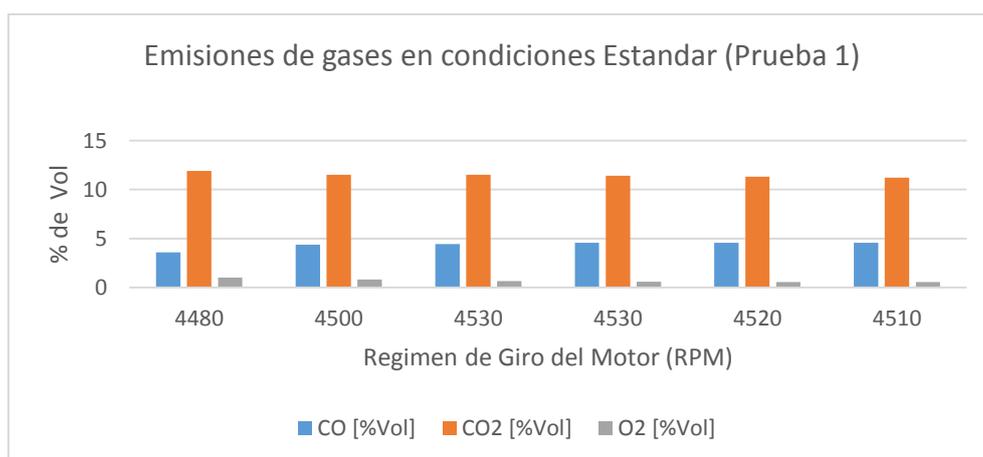


Figura 65. Emisiones de gases de escape en % de Volumen (condiciones estándar)

En la figura 66 se puede apreciar que los hidrocarburos disminuyen a medida que el

régimen de giro del motor se incrementa, obteniendo inicialmente 232 ppm de volumen y 229 ppm de volumen al final a 4480 y 4510 r.p.m respectivamente. Por el contrario el Óxido Nitroso actúa de manera inversa empezando con un valor de 249 ppm y culminando en 266 ppm para el mismo régimen de giro expuesto anteriormente.

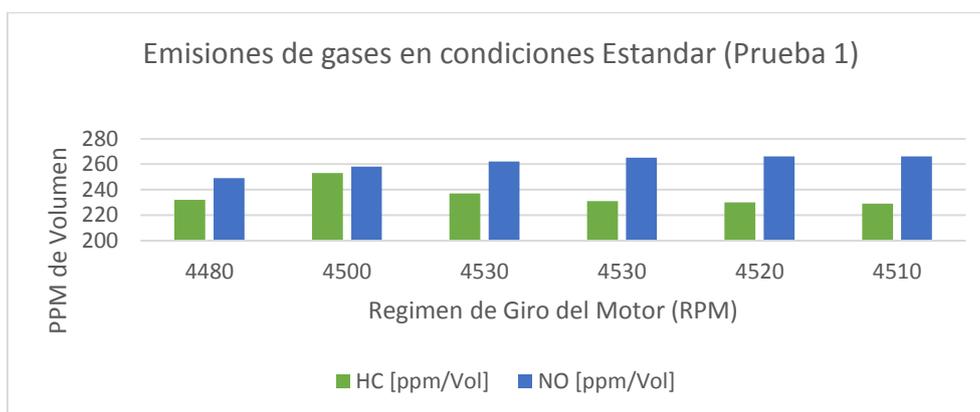


Figura 66. Emisiones de gases de Escape en PPM de Volumen (Condiciones Estándar)

Los valores de Lambda, expuestos en la figura 62 muestran una mínima disminución de su valor, así se obtuvo 0.933 a 4480 r.p.m en la primera medición y termina con 0.855 a 4510 r.p.m .

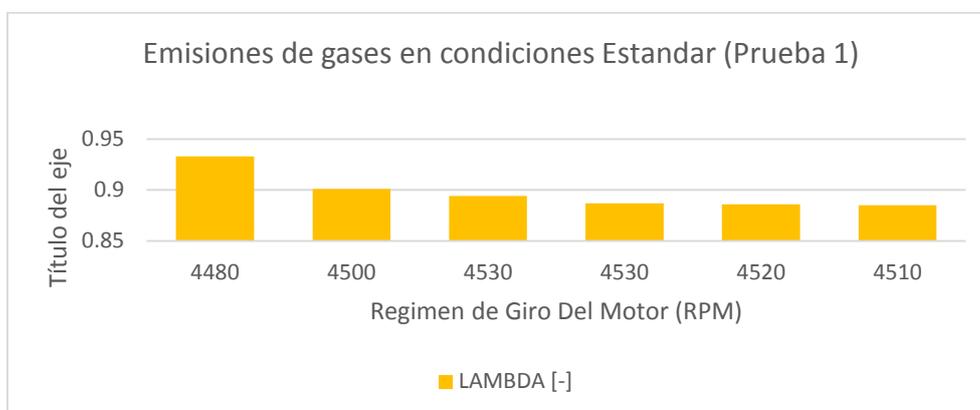


Figura 67. Valores de Lambda en Condiciones Estándar

La prueba continua mostrada en la tabla 26, se generó en condiciones estándar del motor

con un régimen de giro elevado (entre 3500 a 5000 r.p.m) tomando datos cada 10 segundos por un lapso de tiempo de 2 minutos.

Tabla 26.

Prueba Continua 2 de emisiones de gases de escape en condiciones estándar

Prueba de emisiones de gases en Condiciones Estándar									
Prueba: 2									
Tiempo de Inyección: 0 segundos									
Tiempo de Descanso: 2 minutos									
Intervalo de tiempos en la toma de datos: 10 Segundos									
NOMBRE	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RPM [1/min]	4260	4280	4300	4310	4330	4330	4340	4340	4350
LAMBDA [-]	1,045	0,928	0,905	0,899	0,897	0,893	0,894	0,893	0,892
CO [%Vol]	3,58	4,01	4,09	4,12	4,13	4,2	4,14	4,12	4,16
TEMP [°C]	85	86	86	87	88	88	89	89	90
CO2 [%Vol]	11,9	11,9	11,8	11,8	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
O2 [%Vol]	3,54	1,16	0,69	0,57	0,51	0,46	0,44	0,41	0,39
HC [ppm/Vol]	269	237	226	221	217	215	212	211	209
NO [ppm/Vol]	216	234	238	242	248	248	254	255	255

El Óxido de Carbono posee un máximo de 4.16 % de volumen a 4350 r.p.m, el Dióxido de Carbono se mantiene estable en 11.9 % de volumen en todas las mediciones y el Oxígeno registra incremento de sus valores en las dos primeras mediciones, a 4260 y 4280 se aprecia medidas de 3.54 y 1.16 % de volumen, datos que decrecen hasta alcanzar 0.39 % de volumen en su última medición a 4350 r.p.m.

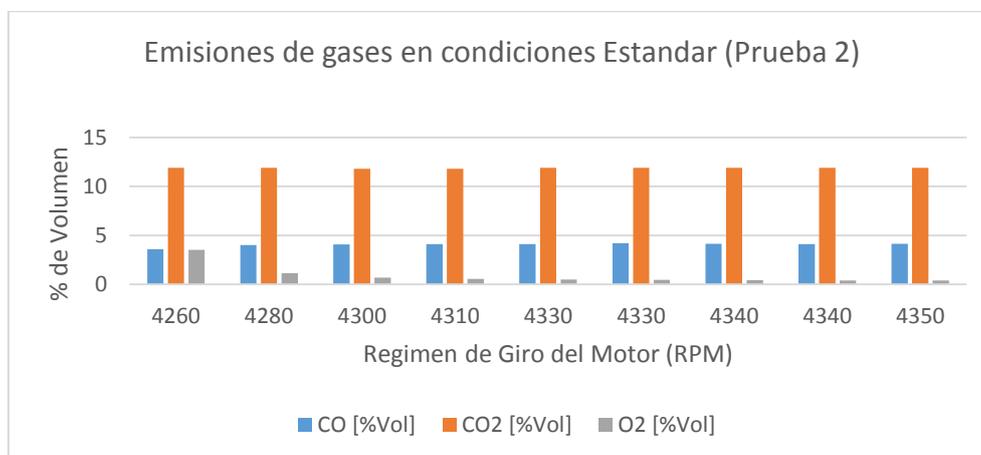


Figura 68. Emisiones de gases de escape en % de Volumen (condiciones estándar)

De la figura 69 se asevera que los hidrocarburos empezaron con un valor alto que alcanzo las 260 ppm de volumen, valor que desciende hasta alcanzar 209 ppm de volumen en su último registró a 4350 r.p.m. Por otra parte, el óxido de nitrógeno no presenta un incremento relevante, ascendiendo de 216 a 255 ppm de volumen de 4260 a 4350 r.p.m

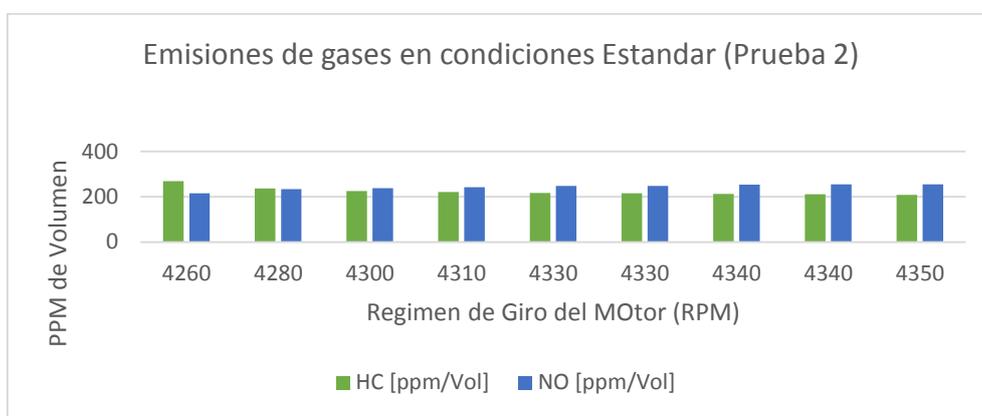


Figura 69. Emisiones de gases de escape en % de Volumen (condiciones estándar)

La medición de Lambda correspondiente a la Prueba 2 en condiciones estándar , representada en la Figura 65 muestra que los valores de la misma decrecen a medida que pasa el tiempo iniciando en 1.045 a 4260 rpm y estabilizándose en valores inferiores a 0.9 por sobre las 4300 r.p.m.

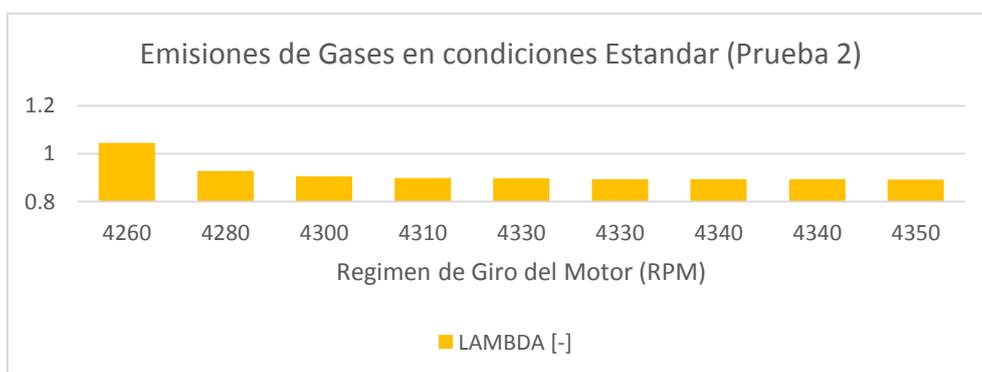


Figura 70. Valores de Lambda en Condiciones Estándar

La tabla 27 muestra la prueba 3 realizada en condiciones estándar del motor por un periodo de tiempo continuo de 3 minutos con toma de tiempos cada 10 segundos.

Tabla 27.*Prueba Continua 3 de emisiones de gases de escape en condiciones estándar*

Prueba de emisiones de gases en Condiciones Estándar																		
Prueba: 3																		
Tiempo de Inyección: 0 segundos																		
Tiempo de Descanso: 3 minutos																		
Intervalo de tiempos en la toma de datos: 10 Segundos																		
NOMBRE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
RPM [1/min]	4360	4370	4390	4390	4390	4410	4410	4410	4420	4420	4430	4440	4440	4430	4450	4450	4440	4450
LAMBDA [-]	0,976	0,927	0,913	0,904	0,899	0,896	0,894	0,894	0,893	0,892	0,889	0,889	0,888	0,888	0,887	0,885	0,884	0,884
CO [%Vol]	3,6	3,88	3,94	4,1	4,17	4,22	4,2	4,17	4,18	4,2	4,25	4,24	4,26	4,23	4,27	4,32	4,35	4,36
TEMP [°C]	85	86	87	88	89	89	90	91	91	92	92	92	93	93	94	94	94	95
CO2 [%Vol]	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
O2 [%Vol]	2,05	1,07	0,78	0,66	0,58	0,53	0,49	0,45	0,43	0,41	0,38	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,31
HC [ppm/Vol]	279	234	217	213	209	206	205	201	201	200	200	199	198	196	195	195	196	196
NO [ppm/Vol]	227	246	248	256	254	249	249	255	258	260	259	258	259	259	260	259	260	257

En la Figura 71 se notó que el Óxido de Carbono Incrementa su valor de manera ascendente de 3.6 % de volumen a 4360 r.p.m a 4.36 % de volumen a 4450 r.p.m, el Dióxido de Carbono no presenta variación, permaneció con valores de 11.8 a 11.9 ppm de Volumen en cada una de las mediciones. El oxígeno tiende a elevarse empezando con 2.05 % de volumen a 4360 r.p.m hasta llegar a 0.31 % de volumen a 4450 rpm.

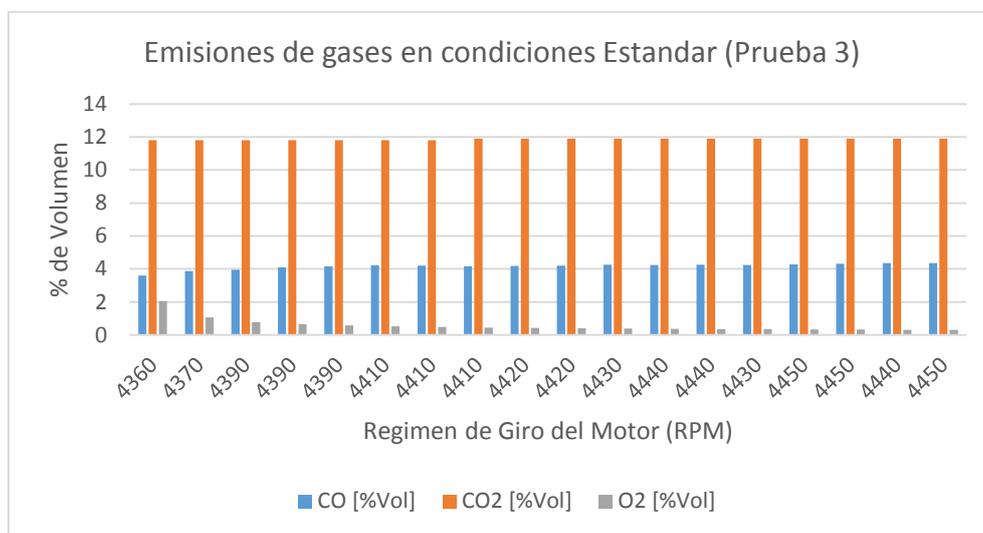


Figura 71. Emisiones de gases de escape en % de Volumen (condiciones estándar)

Los hidrocarburos y óxidos de nitrógeno presentes en la figura 67 decrecen en torno al primer y último punto de medición de 279 a 196 ppm de volumen a 4360 y 4450 r.p.m, el Óxido de Nitrógeno empieza con 227 ppm de volumen a 4360 r.p.m y se estabiliza en valores de 249 a 260 ppm de volumen en el resto de mediciones

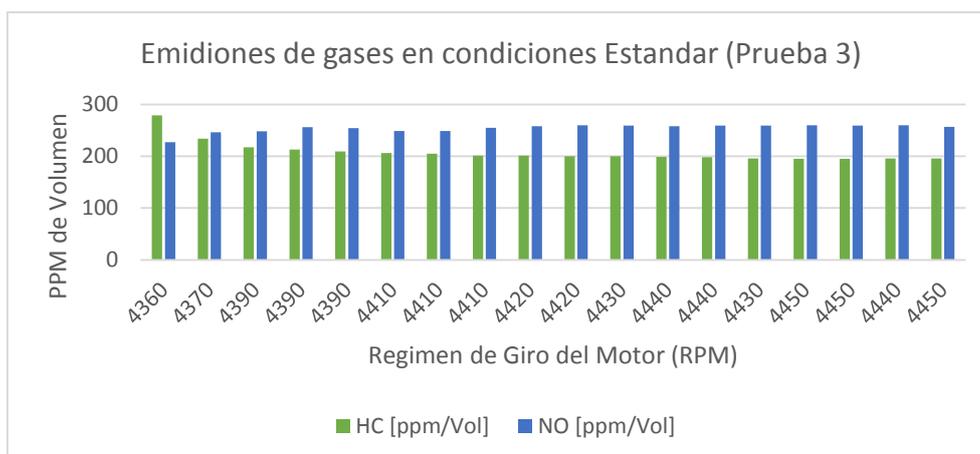


Figura 72. Emisiones de gases de escape en % de Volumen (condiciones estándar)

En la Figura 73 se observa los valores de Lambda los cuales destacan en las 3 primeras mediciones a 4360,4370 y 4390 r.p.m donde se registraron valores de 0.976, 0.927 y 0.913 a partir de este se puede observar un decremento en el régimen de las milésimas hasta llegar a 0.884 a 4450 rpm.

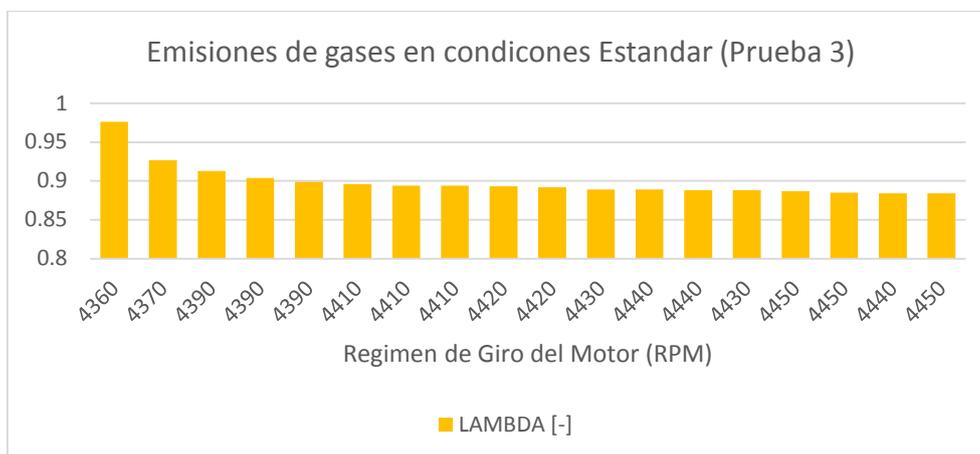


Figura 73. Valores de Lambda en Condiciones Estándar

Los siguientes datos corresponden a la última medición en condiciones estándar, fue la más extensa durando 4 minutos con condiciones similares a las pruebas registradas anteriormente.

Tabla 28.*Prueba Continua 3 de emisiones de gases de escape en condiciones estándar*

Prueba de emisiones de gases en Condiciones Estándar																								
Prueba: 4																								
Tiempo de Inyección: 0 segundos																								
Tiempo de Descanso: 4 minutos																								
Intervalo de tiempos en la toma de datos: 10 Segundos																								
NOMBRE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
RPM [1/min]	4350	4360	4370	4370	4380	4400	4410	4410	4420	4430	4430	4420	4420	4440	4430	4440	4450	4440	4450	4460	4450	4460	4460	4460
LAMBDA [-]	1,367	0,979	0,919	0,906	0,9	0,898	0,895	0,892	0,893	0,891	0,89	0,89	0,889	0,888	0,887	0,887	0,887	0,885	0,885	0,883	0,883	0,882	0,882	0,881
CO [%Vol]	3,38	4,13	4,32	4,37	4,38	4,34	4,34	4,39	4,27	4,31	4,32	4,28	4,27	4,31	4,33	4,31	4,31	4,35	4,37	4,41	4,39	4,46	4,47	4,46
TEMP [°C]	85	86	87	88	89	90	90	91	91	92	92	93	93	94	94	94	95	95	95	96	96	96	97	97
CO2 [%Vol]	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,8	11,8	11,8	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11,9
O2 [%Vol]	10,3	2,62	1,12	0,85	0,72	0,64	0,57	0,52	0,48	0,44	0,42	0,4	0,38	0,36	0,35	0,33	0,33	0,31	0,31	0,3	0,29	0,29	0,29	0,29
HC [ppm/Vol]	211	200	198	196	195	194	194	194	193	193	193	193	192	192	192	192	192	192	191	193	192	193	194	194
NO [ppm/Vol]	187	221	225	226	231	230	240	243	243	245	247	248	252	252	250	253	254	251	251	251	251	249	246	247

La Figura 74 permite visualizar los valores de Óxido de Carbono que aumento de 3.38 % de volumen a 4350 r.p.m a 4.46 % de volumen a 4460 r.p.m; En el caso del Dióxido de Carbono los valores oscilan entre 11.7 a 12 % de volumen en todas sus mediciones y finalmente los Oxígenos son mínimos a excepción de la primera medición que registra 10.3 % de volumen a 4350 r.p.m.

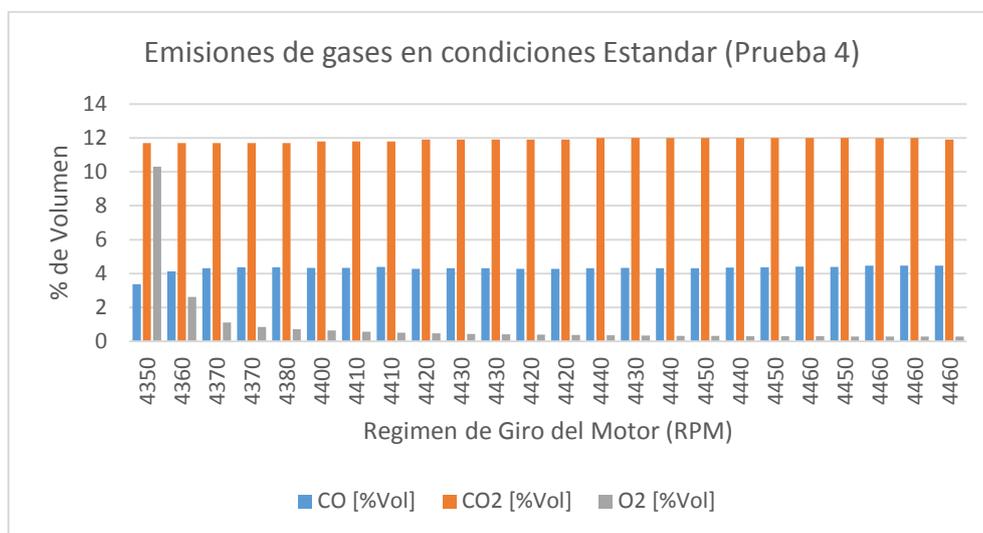


Figura 74. Emisiones de gases de escape en % de Volumen (condiciones estándar)

De la figura 75 se infiere que los hidrocarburos elevaron su valor a diferencia de las pruebas anteriores en condiciones estándar, esto puede atribuirse a que la temperatura del motor aumento producto del tiempo en que se realizó la toma de datos, de esta manera se empieza a 4350 r.p.m donde registro un valor de 211 ppm de volumen, que disminuye hasta 194 ppm de volumen a 4460 r.p.m por el contrario y al igual que en las pruebas a condiciones estándar anteriores el valor del Óxido de Nitrógeno asciende de 187 a 247 ppm de volumen desde la primera hasta la última medición a las revoluciones indicadas

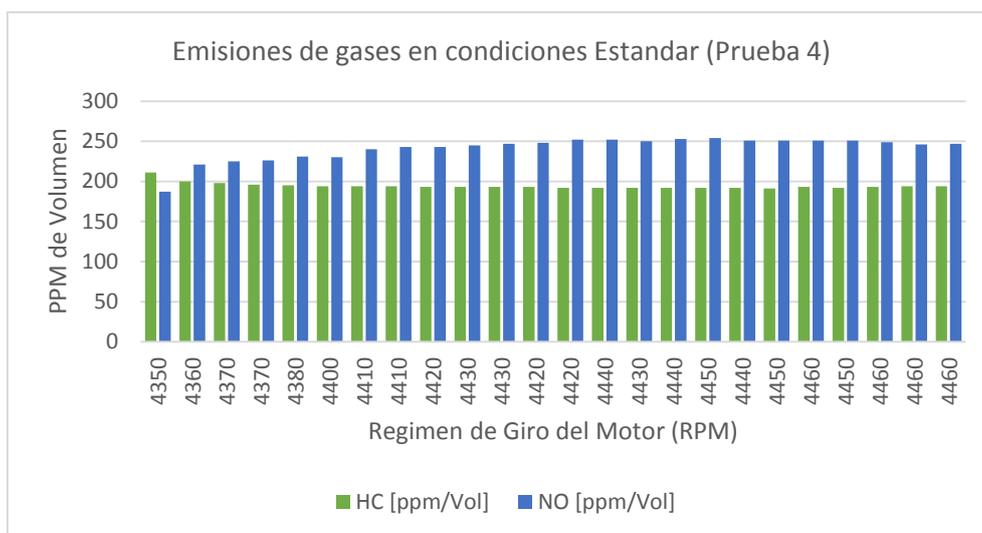


Figura 75. Emisiones de gases de escape en % de Volumen (condiciones estándar)

Similar a las anteriores pruebas en condiciones estándar, se muestra el decrecimiento de Lambda desde 4350 rpm a 4460 r.p.m de 1.367 a 0.881

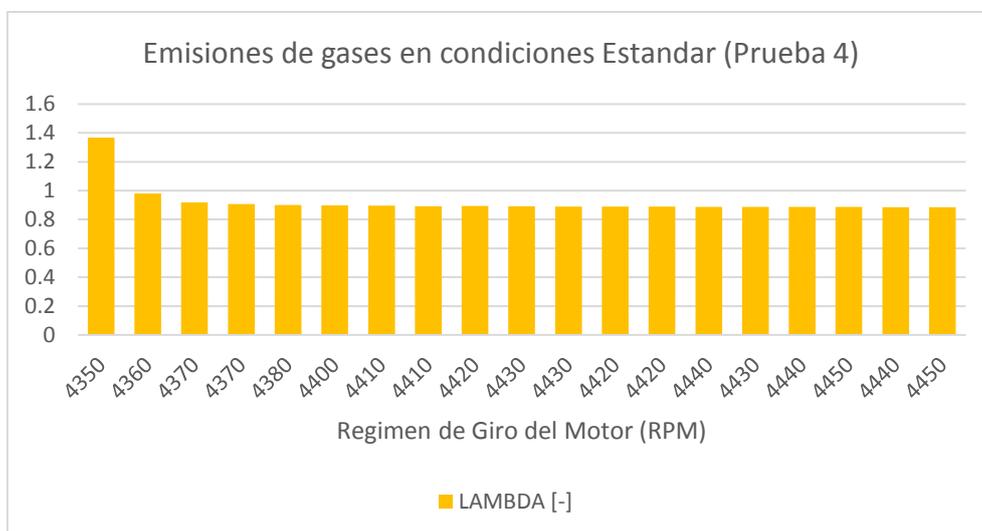


Figura 76. Valores de Lambda en Condiciones Estándar

4.6.3. Torque y Potencia

Cumplidos todos los procesos para la toma de datos de las prestaciones del motor, la

imagen muestra los resultados obtenidos en condiciones estándar del vehículo, sin realizar la inyección controlada de anhídrido carbónico en la admisión y entrada de combustible.

A 5800 r.p.m (revoluciones a las cuales el manual indica los datos del motor) se observa que el Dinamómetro de Rodillos DYNO-MAX “PRO” emite los siguientes resultados:

Torque: 47,41 HP

Potencia: 42.38 N.m

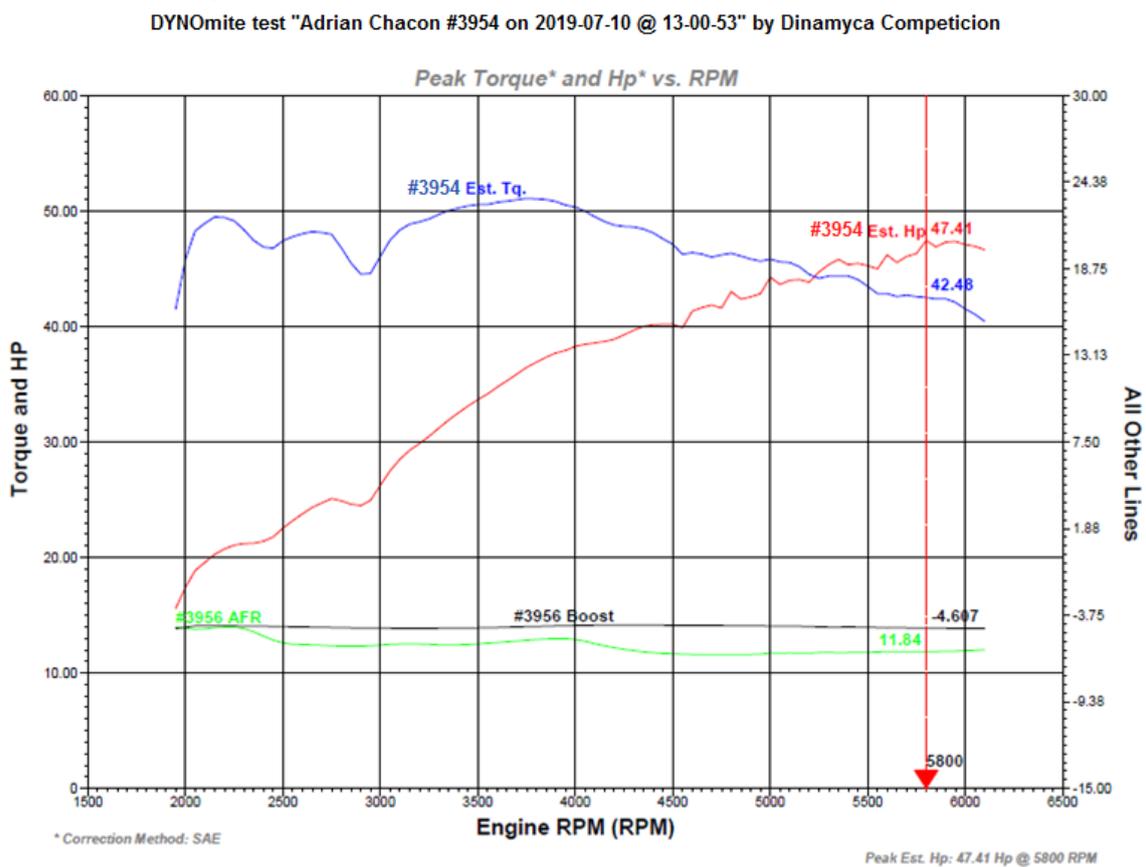


Figura 77. Torque y potencia del motor Suzuki G13 generados a condiciones estándar de funcionamiento

4.7. Inyección de Anhídrido Carbónico

La inyección indirecta de anhídrido carbónico en los sistemas de admisión y entrada de combustible del motor G13B se realizó a 5 diferentes tiempos de inyección mostrados en la tabla 30 con, las condiciones del motor consideradas son, temperatura y régimen de giro del motor.

Tabla 29.

Tiempo de inyección de anhídrido carbónico en admisión y entrada de combustible

RPM	Temperatura (°C)	Entrada de la admisión				Entrada de Combustible			
		Tiempos de inyección (seg)				Tiempos de inyección (seg)			
Ralentí	80 °C	5	10	15	20	5	10	15	20
3500-500	80°C	5	10	15	20	5	10	15	20

La tabla 30 proporciona los tiempos de descanso directamente proporcionales a la duración de la inyección, estos fueron determinados conforme se estabilizo la temperatura del bulbo y encamisado metálico haciéndose necesario una nueva inyección.

Tabla 30.

Tiempo de descanso de anhídrido carbónico en admisión y entrada de combustible

RPM	Temperatura (°C)	Entrada de la admisión				Entrada de Combustible			
		Tiempos de descanso (min)				Tiempos de descanso (min)			
Ralentí	80 °C	1	2	3	4	1	2	3	4
3500-500	80°C	1	2	3	4	1	2	3	4

Cada una de las pruebas fue realizada por tres ocasiones con el afán de establecer un promedio entre estas y descartar errores de medición posibles al realizar las mismas una sola vez.

4.8. Inyección de Anhídrido Carbónico en la admisión

4.8.1. Temperaturas

Capturadas en el mismo punto que en condiciones estándar, se puede observar el descenso de temperatura en los puntos de mayor interés (bulbo y encamisado metálico) en los cuales se requiere la mayor efectividad del kit.

a. Inyección de anhídrido Carbónico de 5 segundos

En esta tabla 31 se muestran los datos tomados en los 9 puntos de análisis tras la inyección de CO₂ por el lapso de segundos con un descanso de 1 minuto, se realizaron 3 pruebas del mismo tipo.

Tabla 31.

Inyección de anhídrido carbónico de 5 segundos (descanso 1 minuto)

Punto de Medición	Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3	
	1	2	1	2	1	2
Reservorio CO₂	12.2	12.2	11.8	11.5	10.9	10.4
Salida de Reservorio CO₂	17.6	17.7	17	16.9	17.9	17
Entrada a Bulbo Metálico	24.1	21.7	22.4	22.1	20.8	21
Solenoides	16.5	17.3	16.2	15.9	15.7	14.8
Bulbo Metálico	8.2	6.8	7.2	6.6	5.8	6.2
Entrada a Carburador	20.9	21.1	22.5	20.5	19.7	17.4
Salida de Bulbo Metálico	28.7	25	26.8	24.2	24	22.8
Entrada a Encamisado	36.1	34.8	35.5	31	32.5	30
Salida de Encamisado	37.7	38.5	38.7	24.4	36.4	25

Las temperaturas registradas en el depósito de CO₂ tras la inyección del mismo evidencian una considerable disminución superior a los 6 °C en relación a la prueba realizada en condiciones normales del vehículo.

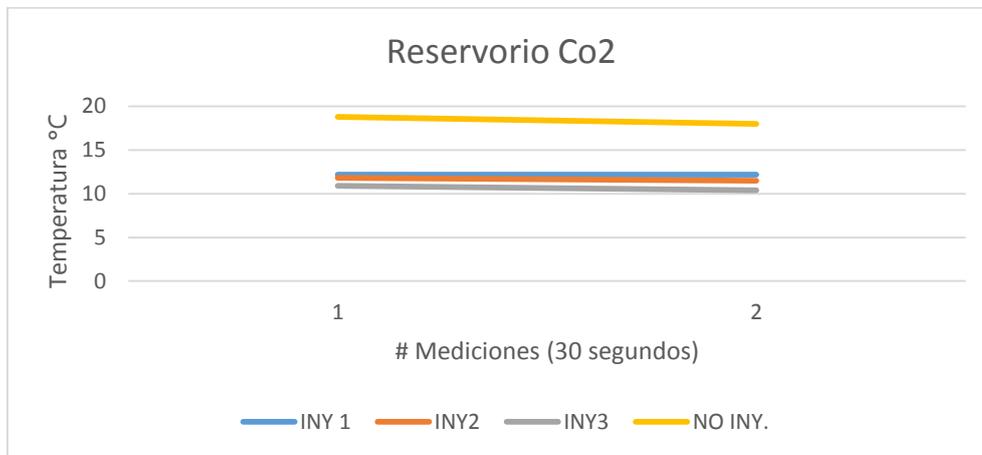


Figura 78. Temperatura del reservorio de CO2 tras la inyección 5 segundos

Al igual que el primer punto analizado, la salida del reservorio de CO2 también presenta una disminución de temperatura significativa tras la inyección de anhídrido carbónico por el lapso de 5 segundos, reduciendo 2 °C en relación a los datos tomados sin inyección.

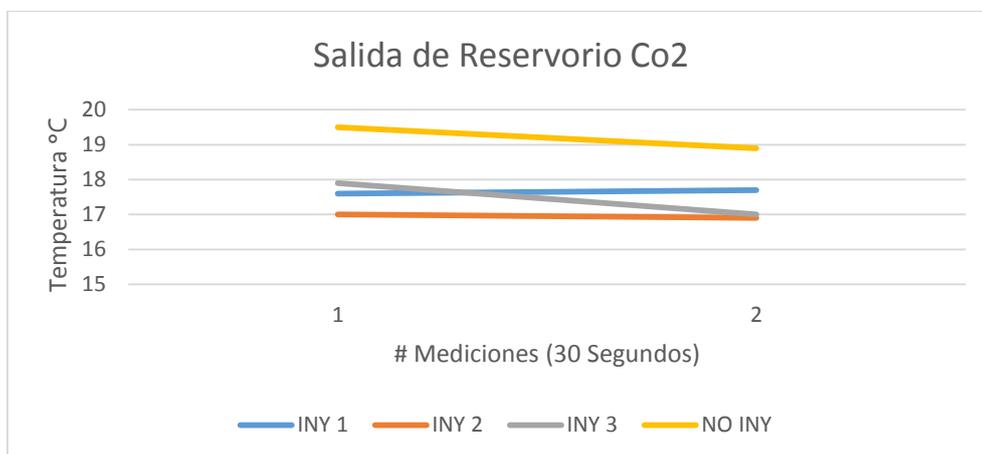


Figura 79. Temperatura a la salida del Reservorio de CO2 tras la inyección de 5 segundos

La entrada al bulbo metálico registra temperaturas superiores a los anteriores puntos de medición, sin embargo los valores tomados al inyectar CO2 muestran una disminución de temperatura de 24.2 °C hasta 24.1 °C en el caso de la inyección 1, para el caso de las pruebas

posteriores los valores descienden hasta los 20.8 °C.

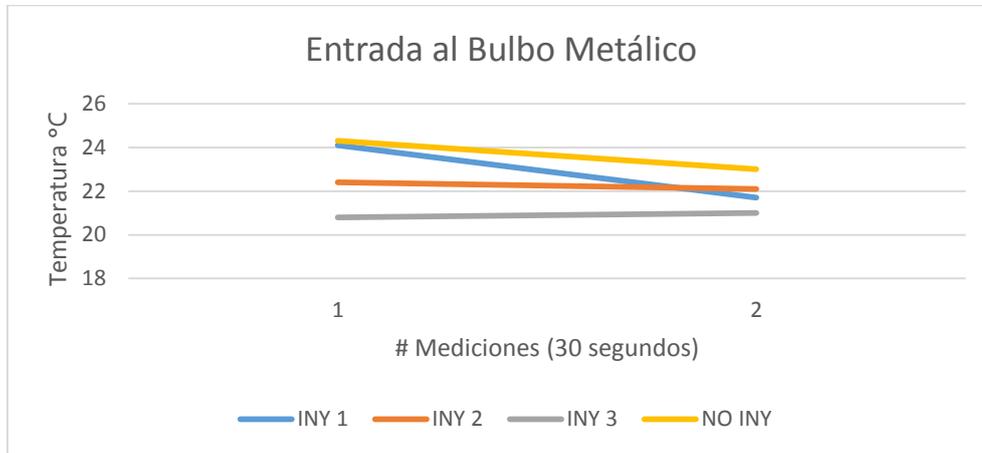


Figura 80. Temperatura a la entrada del bulbo metálico tras la inyección de 5 segundos

El solenoide o válvula de inyección de CO₂ presenta una reducción evidente de temperatura en las 3 inyecciones con respecto a la prueba realizada en condiciones estándar del motor, más de 5 °C de reducción se notan en este punto de medición.

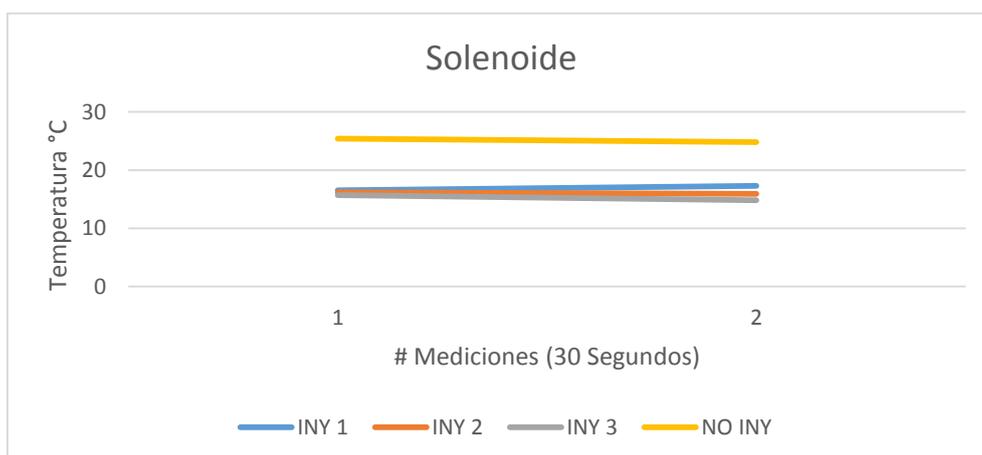


Figura 81. Temperatura en el solenoide tras la inyección de 5 segundos

Siendo el punto de mayor interés a lo largo de todo el recorrido, el bulbo metálico sufre una reducción notoria de temperatura de 17,3 °C al inicio de la medición sin inyectar hasta

alcanza temperaturas inferiores a los 10 °C en todas las inyecciones a lo largo de las dos mediciones realizadas en esta prueba.

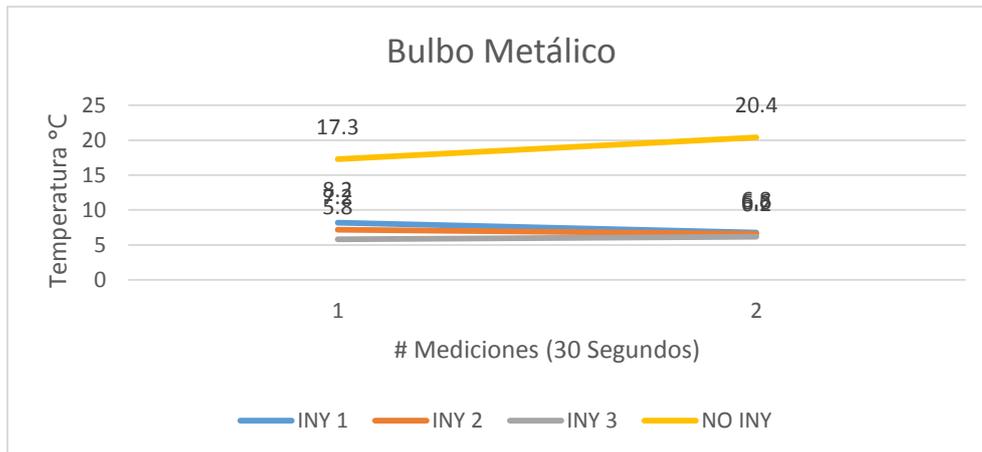


Figura 82. Temperatura en el bulbo metálico tras la inyección de 5 segundos

La tendencia de la temperatura en este punto es reducir su valor a lo largo de las dos mediciones realizadas, pese a esto los valores registrados cuando se inyecta CO₂ son inferiores al que se tomó en condiciones normales de funcionamiento del motor.

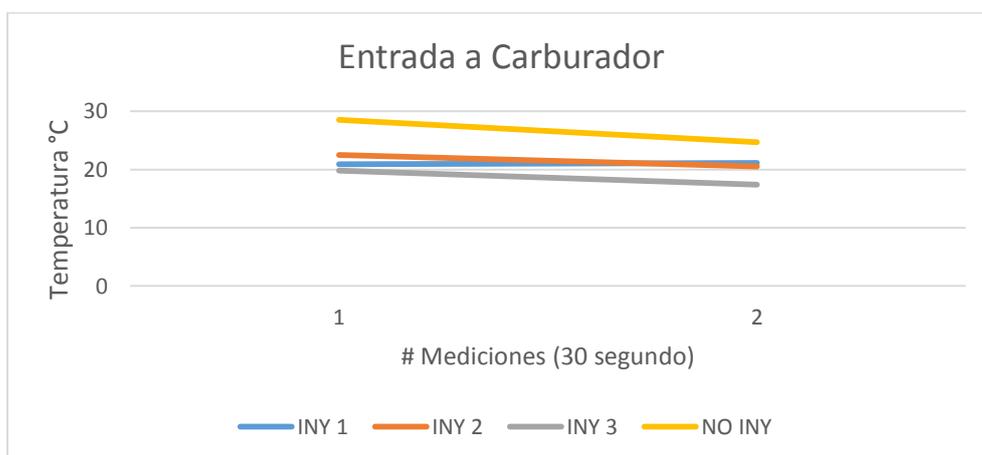


Figura 83. Temperatura a la entrada del carburador tras la inyección de 5 segundos

La salida del bulbo metálico presenta un comportamiento decreciente en todas sus

mediciones (incluso la estándar), pero los valores que corresponden a las inyecciones son inferiores a los 30 °C a diferencia del valor que se registró inicialmente.

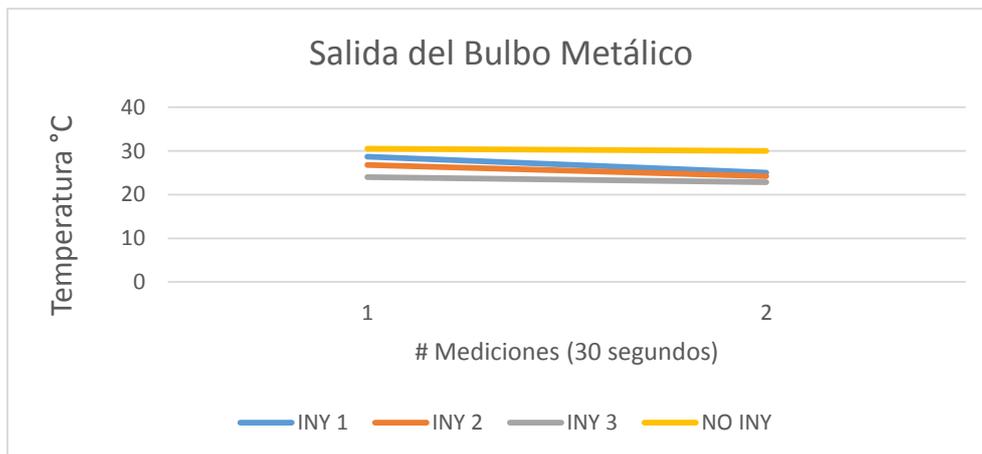


Figura 84. Temperatura a la salida del bulbo metálico tras la inyección de 5 segundos

Las temperaturas en este punto se comportan similar a la salida del bulbo metálico pero con valores superiores que se encuentran entre los 30 y 40 °C, las inyecciones de CO₂ se encuentran por debajo de los valores tomados en condiciones normales del motor.

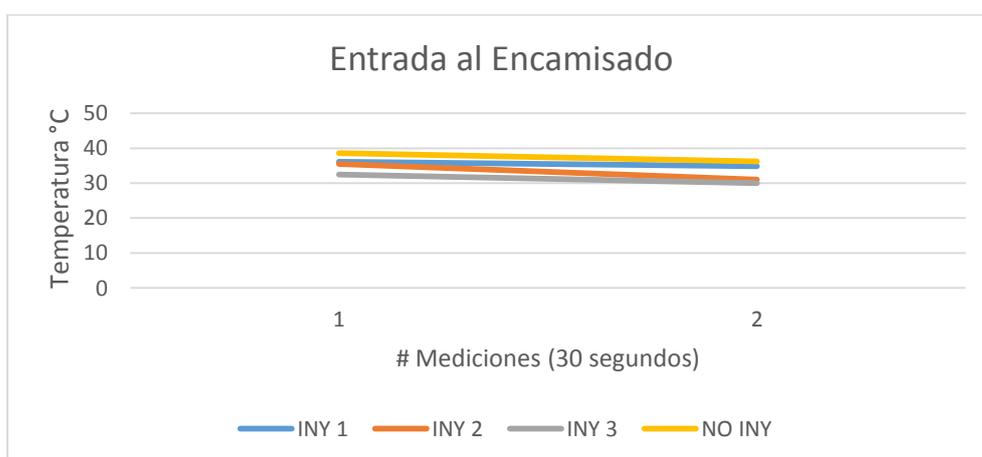


Figura 85. Temperatura a la entrada del encamisado tras la inyección de 5 segundos

El último punto tomado en consideración para la toma de temperaturas, presenta

reducción de las mismas tras a inyección de CO₂ en sus 3 pruebas haciendo que estas se encuentren por debajo de los 40 °, temperatura a la cual se mantiene el punto en condiciones normales de funcionamiento.

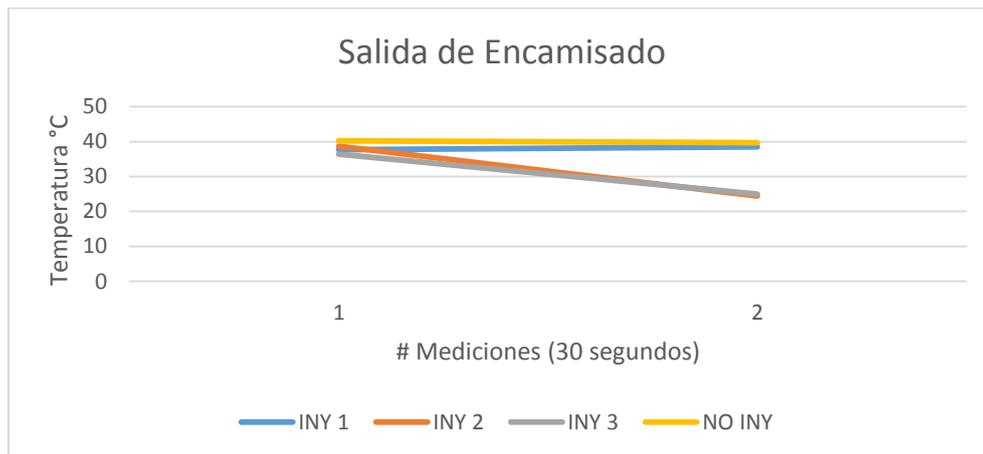


Figura 86. Temperatura a la salida del encamisado tras la inyección de 5 segundos

b. Inyección de anhídrido Carbónico de 10 segundos

Los tiempos de inyección y descanso aumentan bajo las mismas condiciones de funcionamiento del motor se presentan los siguientes resultados en la tabla 32.

Tabla 32.

Inyección de anhídrido carbónico de 10 segundos (descanso 2 minutos)

Punto de Medición	Prueba 1				Prueba 2				Prueba 3			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Reservorio CO ₂	13.2	13.4	12.2	12.5	12.8	13	13.2	12.6	12.7	12.5	12.9	13.2
Salida de Reservorio CO ₂	17	15.5	16.3	14.2	15.2	14.9	13.4	12.6	11.4	10.7	10.5	10.1
Entrada a Bulbo Metálico	25.4	24.5	25.2	22.5	24.5	23.8	23.2	23	24.7	24	23.6	22.1
Solenoides	21.7	17.4	17.8	18.6	20.1	19.9	19.2	18.5	4.8	5.2	6.8	3.4
Bulbo Metálico	5.2	4.8	5.4	5.2	6.8	6.2	5.9	5.4	19.8	18.2	17.7	16.3
Entrada a Carburador	20.1	28,5	25	23,5	24	23.7	22.4	21	25.7	24.6	23.3	20.7
Salida de Bulbo Metálico	34.9	30.9	36.5	33.9	41	39.6	37.2	34	31.7	30.8	38.2	36.7
Entrada a Encamisado	35.6	34.7	28.3	27.8	36.4	35.2	28.8	27.6	37.2	36.7	30.2	29.4
Salida de Encamisado	35.6	35.1	26.3	25.7	36.3	35.9	33	24.2	37.2	36.8	35.1	30.4

El reservorio de CO₂ reduce su temperatura tras la inyección de anhídrido carbónico con

valores inferiores en 6 °C, hasta la tercera medición donde estos se estabilizan entre 12.8 a 13.2 °C, cabe resaltar que los valores producidos con la inyección siempre se encuentran por debajo de las condiciones estándar.

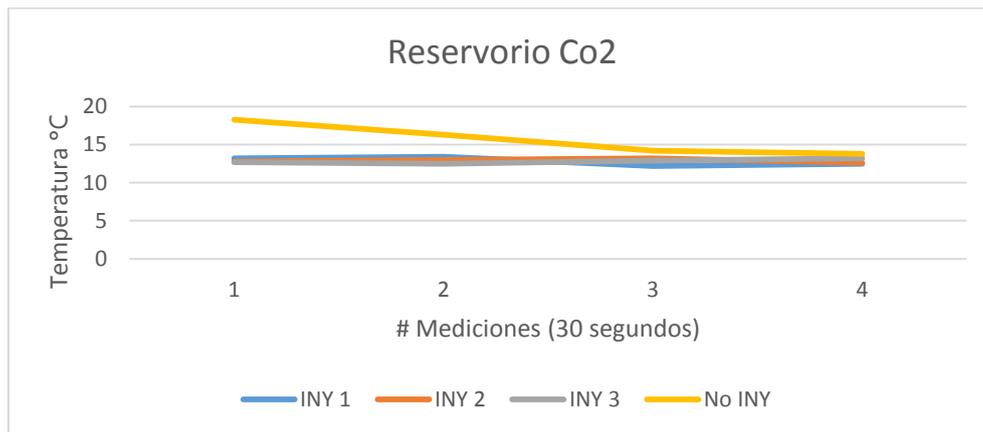


Figura 87. Temperatura en el reservorio de CO2 tras la inyección de 10 segundos

Posterior a la inyección de anhídrido carbónico, la salida del depósito permanece con temperaturas inferiores a las que registra el punto de partida en condiciones estándar, esto debido a que el gas empieza su circulación, obteniendo su punto más bajo en la tercera inyección con valores de 11.4 y 10.1 °C al inicio y fin de la medición.

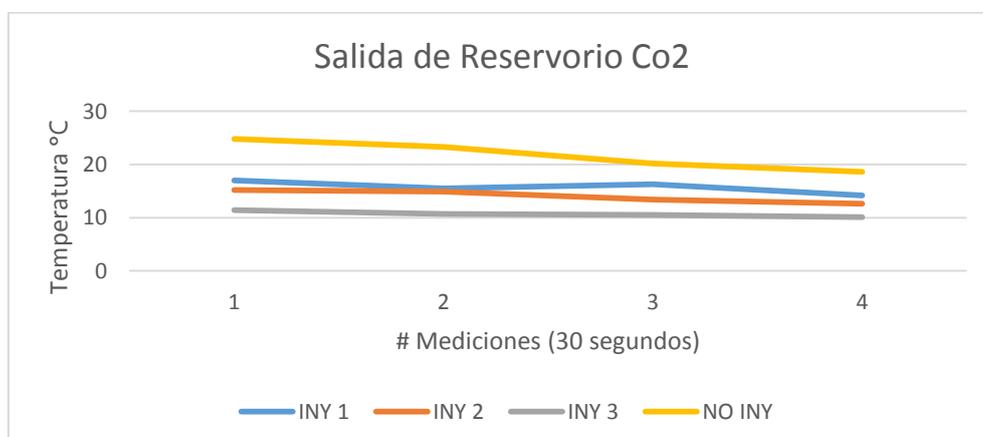


Figura 88. Temperatura a la salida del reservorio de CO2 tras la inyección de 10 segundos

La entrada al Bulbo Metálico registra una temperatura superior a los 30 °C en condiciones estándar al inicio de la medición, y culmina la prueba con 24.9 °C, los valores tomados tras las tres inyecciones indican una estabilización de la misma entre 24 a 22 °C en todo el tiempo de descanso.

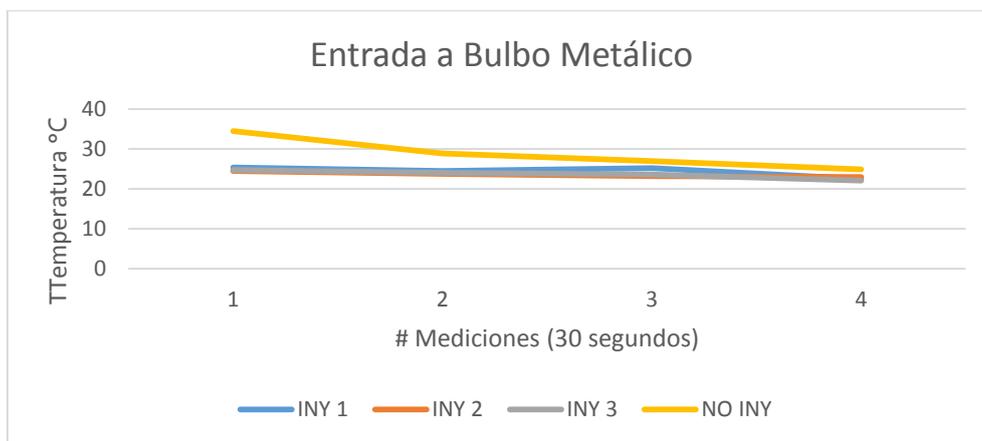


Figura 89. Temperatura a la entrada del bulbo metálico tras la inyección de 10 segundos

23.5 °C es la temperatura inicial que tiene el solenoide en condiciones estándar y conforme pasa el tiempo, esta se reduce hasta los 19.6 °C luego de dos minutos de medición. Estos valores cambian luego de realizar las inyecciones reduciendo en cada punto un promedio de 3 °C.

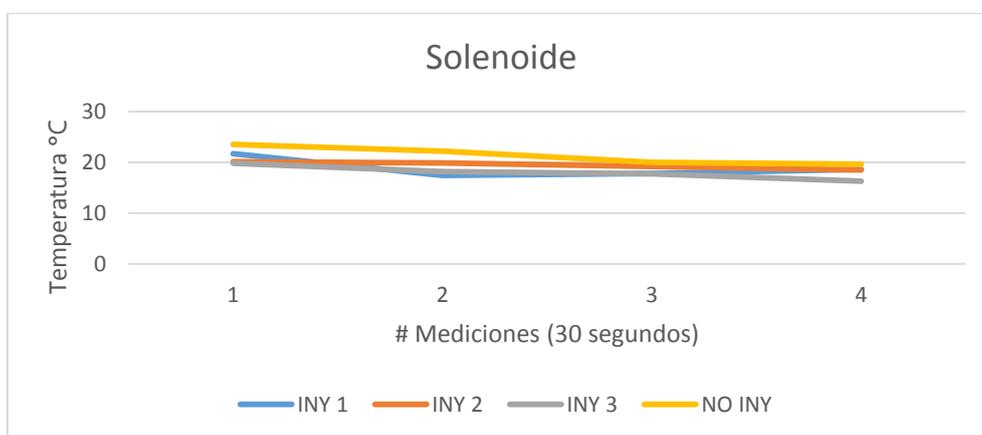


Figura 90. Temperatura en el solenoide tras la inyección de 10 segundos

El punto de mayor incidencia a lo largo del recorrido del kit, muestra un decremento superior a los 10 °C entre las pruebas de inyección y la de condiciones estándar del vehículo, logrando reducir de 20.5 a 18.6 °C al no inyectar a 4.8 y 3.4 °C en la prueba más efectiva.

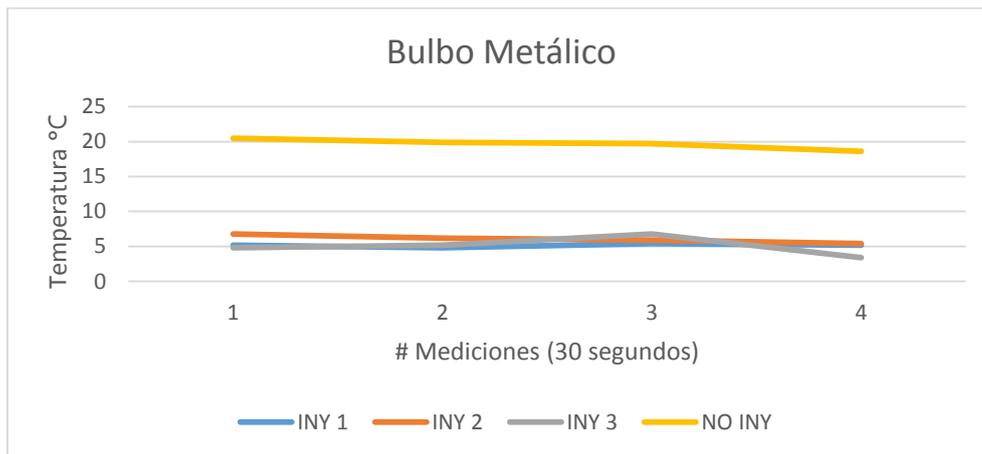


Figura 91. Temperatura en el bulbo metálico tras la inyección de 10 segundos

El aire que ingresa posterior a su refrigeración por convección en el bulbo metálico tiene una reducción de más de 5 °C al inicio de las mediciones y transcurridos los 2 minutos de descanso esta diferencia se acorta a 2 °C.

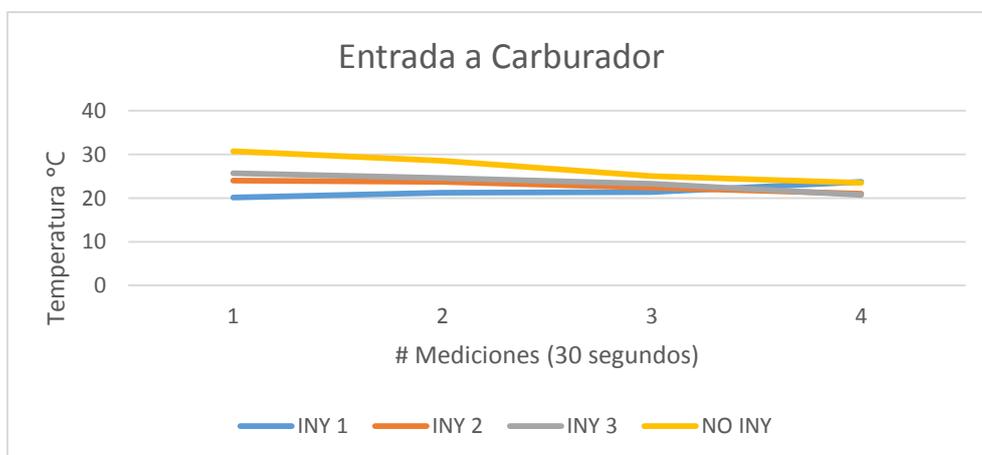


Figura 92. Temperatura a la entrada del carburador tras la inyección de 10 segundos

Es el primer punto de medición en el cual la inyección 2 reduce tan solo 0.8 °C al inicio de la prueba, existe una intersección de valores al en la tercera medición evidenciándose un decremento superior en condiciones estándar, transcurridos los dos minutos de descanso se obtiene una temperatura de 34.1 sin la activación de kit y 36.7 °C cuando el mismo se encuentra en funcionamiento.

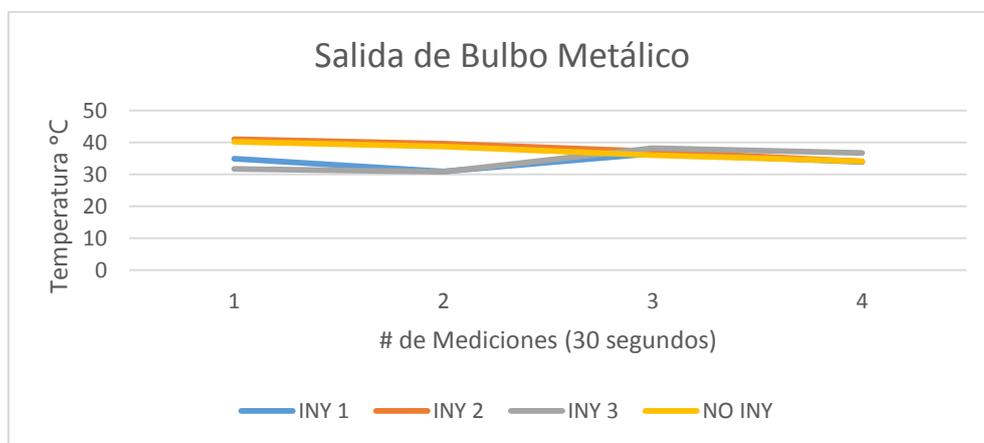


Figura 93. Temperatura a la salida del bulbo metálico tras la inyección de 10 segundos

La diferencia de temperaturas en este punto es notoria a partir de la tercera medición, en donde los 34.7 °C en condiciones estándar bajan hasta 27.6 en la inyección más efectiva (INY 2).

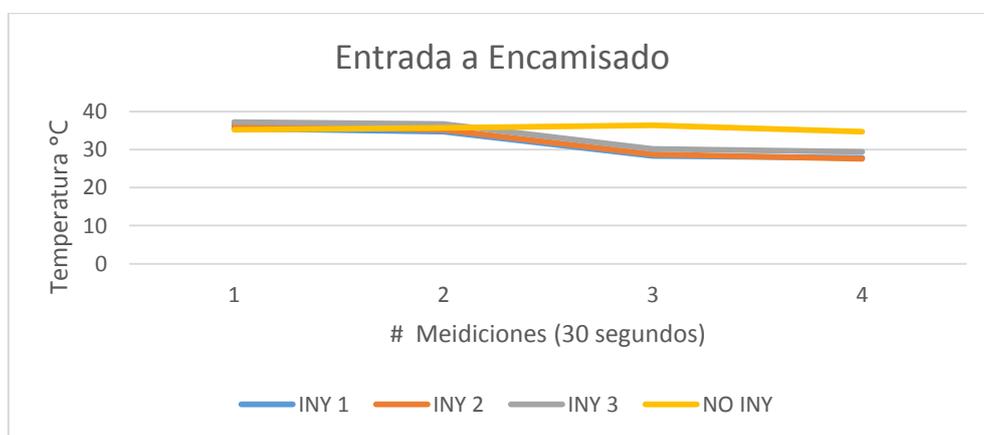


Figura 94. Temperatura a la entrada del encamisado tras la inyección de 10 segundos

Empieza con una temperatura de 38.9 °C y culmina con 38 °C en condiciones estándar, la medición que redujo más estos valores fue la dos así se obtuvo 36.3 °C y 24.2 °C en los mismos puntos.

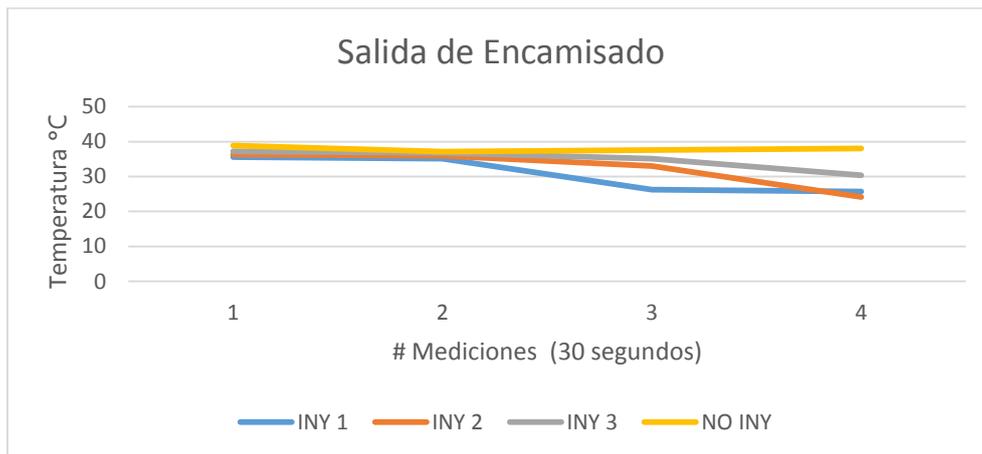


Figura 95. Temperatura a la salida del encamisado tras la inyección de 10 segundos

c. Inyección de anhídrido Carbónico de 15 segundos

Esta inyección tiene una duración de 15 segundos y el tiempo de descanso de eleva en 1 minuto en relación a la anterior prueba, se toman las temperaturas de los mismos puntos, en periodos iguales de tiempo.

Tabla 33.*Inyección de anhídrido carbónico de 15 segundos (descanso 3 minutos)*

Punto de Medición	Prueba 1						Prueba 2						Prueba 3					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Reservorio CO2	6	5.4	4.2	3.6	2.7	1	5.2	4.8	3.5	2.5	1.2	0.9	5.7	5.5	3.9	3	2.7	2.1
Salida de Reservorio CO2	15.5	13.8	14.8	13.8	13.9	17.2	17.6	16.7	16.9	13.2	13	14.5	16.8	15.9	15.7	14.6	12.1	10
Entrada a Bulbo Metálico	22.8	22.4	23.1	25.9	22.5	23.9	23.6	22.9	22.7	21.8	20.5	20.4	24.7	24.1	23.2	23.7	23.2	22.5
Solenioide	17.9	18.2	16.9	16.6	15.8	14.9	17.9	17.5	16.6	17.1	16.8	17	16.9	16.7	15.4	16.2	14.9	15.8
Bulbo Metálico	1.8	1.6	0.7	2.1	0	-1	-3.2	-3.4	-3.7	-3.3	-3.9	-4	-4.1	-4.3	-4.3	-3.8	-3	-3.5
Entrada a Carburador	22.7	24.4	24.8	22.7	22.5	23.1	23.8	23.6	22.9	23.7	23.9	24	24.5	24.1	23.7	23.3	22.5	21.9
Salida de Bulbo Metálico	34.2	30.1	31.7	33.2	24.5	35.7	35.8	35.1	34.9	34.7	33.2	33	34.2	33.9	32.8	33.6	33	34.2
Entrada a Encamisado	36.4	35.2	35	35.5	35.8	36	36.7	36.4	34.2	35.1	34	35.3	35.9	35.7	35.4	33.3	34.2	33.1
Salida de Encamisado	34.9	39.2	39.1	38.7	40.3	39.6	40	39.1	39.4	39.7	39.1	40	36.1	35.2	35	35.1	26.3	25.7

El comportamiento del reservorio de CO₂ tiende a elevar su temperatura en condiciones estándar de 13.5 a 15.4 °C, contrario a las inyecciones realizadas que reducen sus calores, siendo la inyección dos la mejor con 5.2 y 0.9 °C en los mismos tiempos de toma de datos.

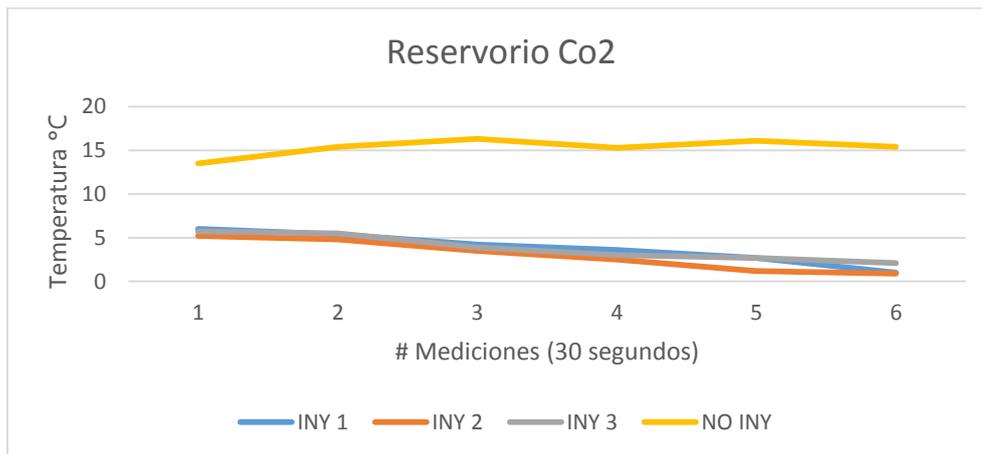


Figura 96. Temperatura en el reservorio de CO₂ tras la inyección de 15 segundos

18.6 °C es la temperatura inicial de este punto en condiciones estándar al inicio de la medición, existe 1.4 °C en la misma al final, la inyección 1 registra el menor valor al inicio con 15.5 °C pero al final incrementa su valor a 17.2 °C el menor se registró al final de los 3 minutos es 10 °C que es producto de la inyección 3.

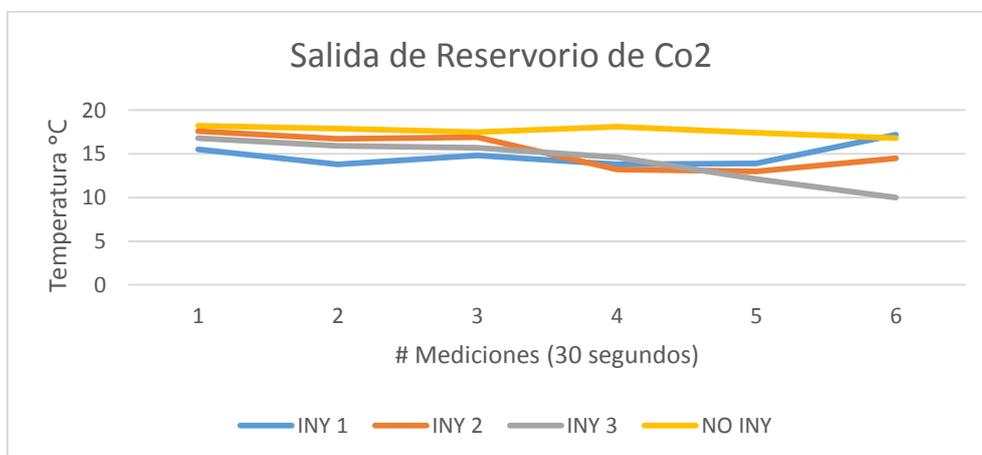


Figura 97. Temperatura a la salida de reservorio de CO₂ tras la inyección de 15 segundos

Existe un pico en los dos minutos de prueba para la prueba en condiciones estándar y la inyección 1 que tienen en este punto 25.6 y 25.9 °C respectivamente las otras dos inyecciones poseen valores inferiores aquí, y en el transcurso de esta prueba la que mejor resultados ofrece es la inyección dos con 23.6 y 20.4 °C a los 30 segundos y 3 minutos.

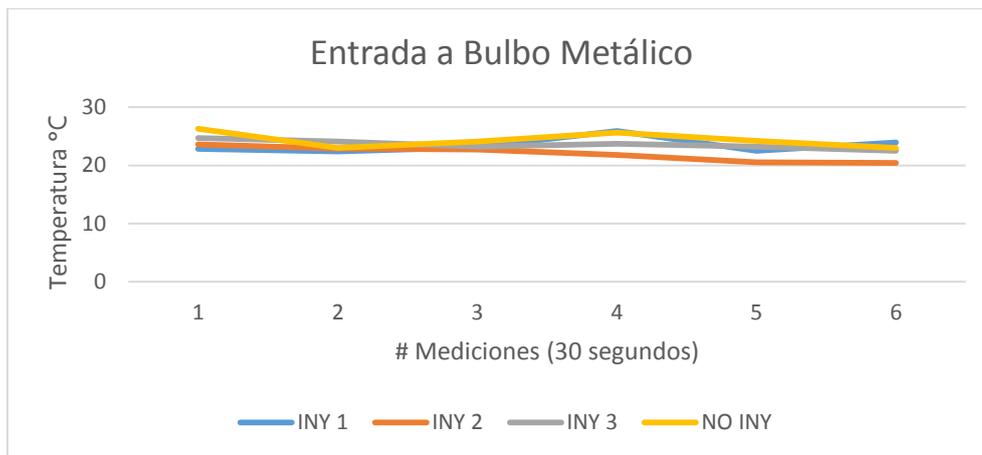


Figura 98. Temperatura a la entrada del bulbo metálico tras 15 segundos de inyección

En condiciones estándar el solenoide reduce su temperatura de 18.6 °C a 16.1 °C en su punto más bajo, pero al cierre de las mediciones su valor aumenta hasta 19.9 °, la inyección con mejores resultados para este caso es la 3 que registra temperaturas de 16.9 y 15.8 °C.

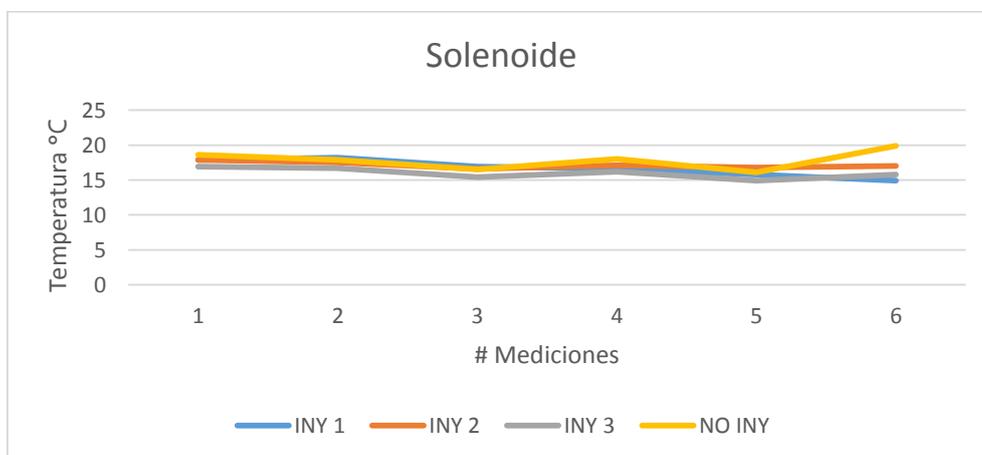


Figura 99. Temperatura en el solenoide tras la inyección de 15 segundos

La disminución de temperatura en este punto es directamente proporcional al tiempo de inyección, se observó que en condiciones normales los niveles de temperatura permanecen en un rango de 15 a 20 °C, pero al entrar en funcionamiento el kit de inyección estas se reducen drásticamente hasta -4.3 °C en el caso de la inyección 3 que presenta mejores resultados.

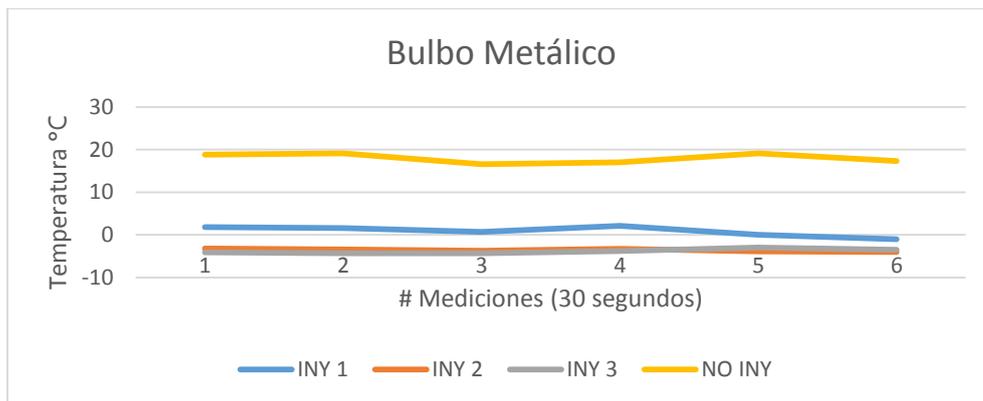


Figura 100. Temperatura en el bulbo metálico tras la inyección de 15 segundos

Tras el paso del aire por el bulbo metálico a temperaturas inferiores a los 2°C, la entrada al carburador también presenta datos inferiores a la prueba en condiciones estándar reduciendo de 29.1 °C a 21.7 °C en sus pintos más críticos, siendo la inyección 3 la que redujo más su temperatura .

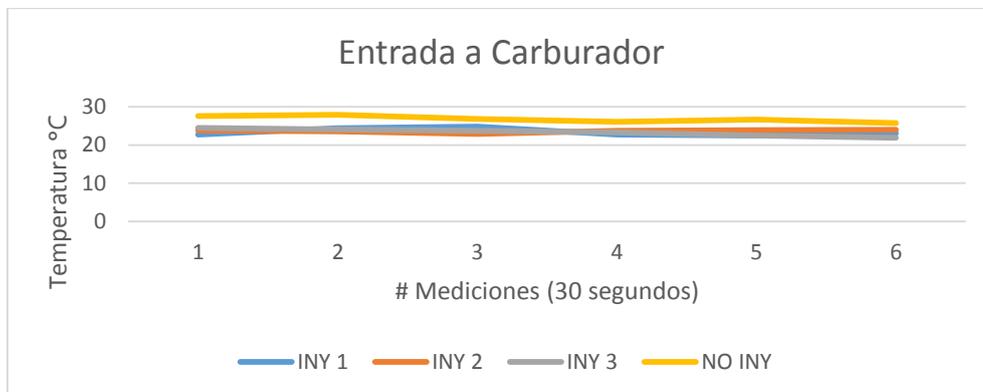


Figura 101. Temperatura a la entrada del carburador tras la inyección de 15 segundos

La salida del bulbo metálico presenta temperaturas superiores a los 35 °C en condiciones normales, en el caso de las inyecciones estos valores se reducen, la inyección 1 presenta su punto más frío en la medición 2 con 30.1 °C.

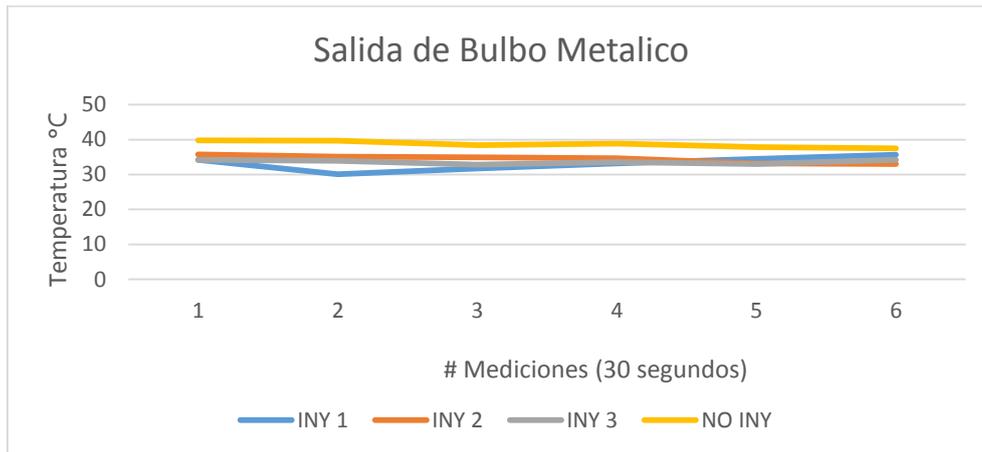


Figura 102. Temperatura a la salida del bulbo metálico tras la inyección de 15 segundos

Este punto presenta varios picos de temperatura, uno de ellos en la inyección 2 incluso supera la temperatura de la medición en condiciones estándar con 36.4 °C frente a los 35.7 °C registrados sin inyección, la inyección con mejores resultados es la tercera con temperaturas de 35.9 y 33.1 °C al inicio y termino de la prueba.

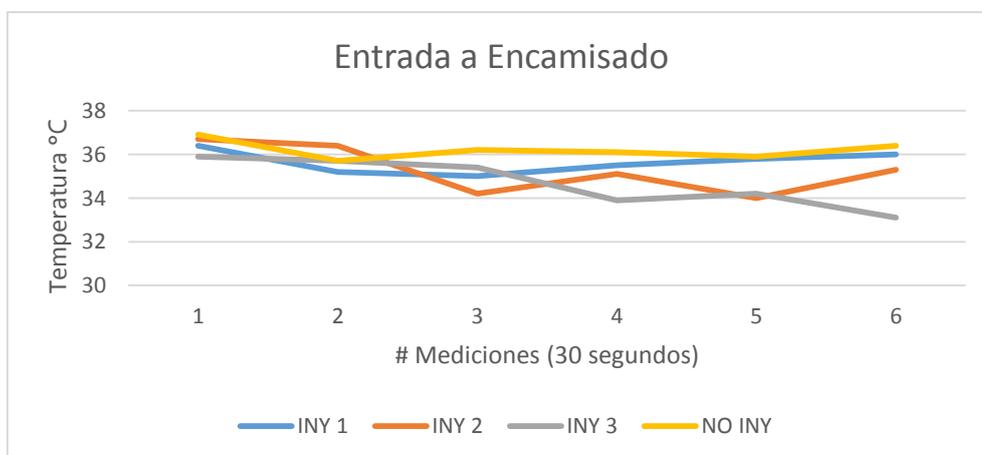


Figura 103. Temperatura a la entrada del encamisado tras la inyección de 15 segundos

El último punto de análisis a lo largo del recorrido del kit presenta al igual que en los otros una reducción de temperatura posterior a las 3 pruebas realizadas, la que mejores resultados obtuvo fue la inyección 3 alcanzando 25.7 °C al final del cuarto minuto.

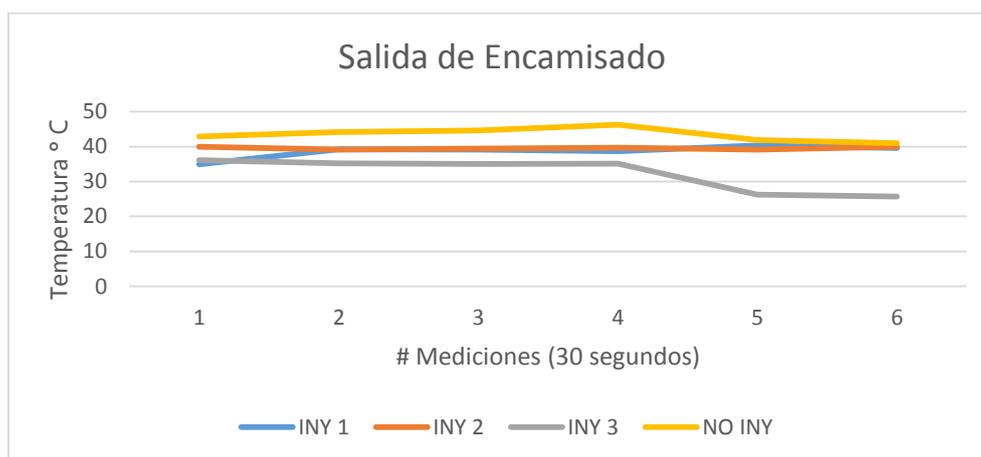


Figura 104. Temperatura a la salida de encamisado tras la inyección de 15 segundos

d. Inyección de anhídrido Carbónico de 20 segundos

Siendo este el mayor tiempo que puede permanecer activada la válvula de paso según las especificaciones del fabricante, se estableció un tiempo de descanso de 4 minutos posteriores a su accionamiento, los datos obtenidos se presentan en la tabla 34.

Tabla 34.*Inyección de anhídrido carbónico de 20 segundos (descanso 4 minutos)*

	Prueba 1								Prueba 2								Prueba 3							
Punto de Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Reservorio CO2	1.2	0.7	-0.6	-1.8	-2.2	-3.7	-4	-4.7	-5.2	-6.4	-8.2	-8.3	-9	-9.2	-9.5	-10.7	-11.4	-13.5	-15.4	-17.5	-19.9	-20.1	-22.7	-24.8
Salida de Reservorio CO2	10.6	9.5	9.9	8.5	7.7	7.1	7.2	6.5	11.5	10.8	9.4	5.2	4.5	3.9	3.4	2.5	1.4	0.9	-1.8	-2	-3.9	-4.2	-4.7	-4.9
Entrada a Bulbo Metálico	23.9	23.6	23.5	24	23.2	21.8	22.2	22.4	26.3	23	20.9	21.2	19.7	19.2	18.8	18	27.4	27.2	26.4	22.7	20.4	19.6	19.1	18.9
Solenoide	16.7	16.5	16	15.8	14.6	14	15.7	16.2	14.5	13.4	13.1	13	12.9	14.2	12.9	13.4	12.7	16.2	13.7	14.5	12.2	11.7	10.8	12.4
Bulbo Metálico	-6.1	-7.2	-7.4	-8	-8.6	-8.7	-9.5	-9.8	-6	-6.6	-6.9	-7.5	-8.2	-8.9	-9.8	-10	-5.1	-5.5	-5.6	-6.5	-7.2	-9.5	-10.2	-11.3
Entrada a Carburador	24.1	23.9	23.9	24.7	24	23.4	23,8	24	22.9	22.3	23.4	23.5	23	23.6	22.8	23.1	24.5	23.6	23.1	23	22.7	24.1	22.6	21.9
Salida de Bulbo Metálico	33.1	33.4	37.3	34.2	32.2	30.5	30.4	33	36.5	35.9	35.8	35	36.4	37.6	34.5	33.2	35.7	35.2	34.9	34.7	34	34.2	33.5	32.9
Entrada a Encamisado	35.6	35,8	35.7	34.3	34	33.8	34.2	33.1	34.7	34.1	33.2	33	32.9	32.7	33.1	33	36.6	36.7	36.4	33.2	31.4	30.2	29.7	24.6
Salida de Encamisado	37.8	38.5	38.7	40.1	38.5	37.3	38.4	37.9	39.1	39.2	39	38.5	37.9	37.2	35.6	36	38	37.9	37.6	37.1	36.2	35	34.8	34.2

El primer punto de medición, presenta las temperaturas más bajas en relación a las mediciones anteriores, llegando en la tercera inyección a una temperatura de $-24.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, esto debido al tiempo que se encuentra descargando su contenido.

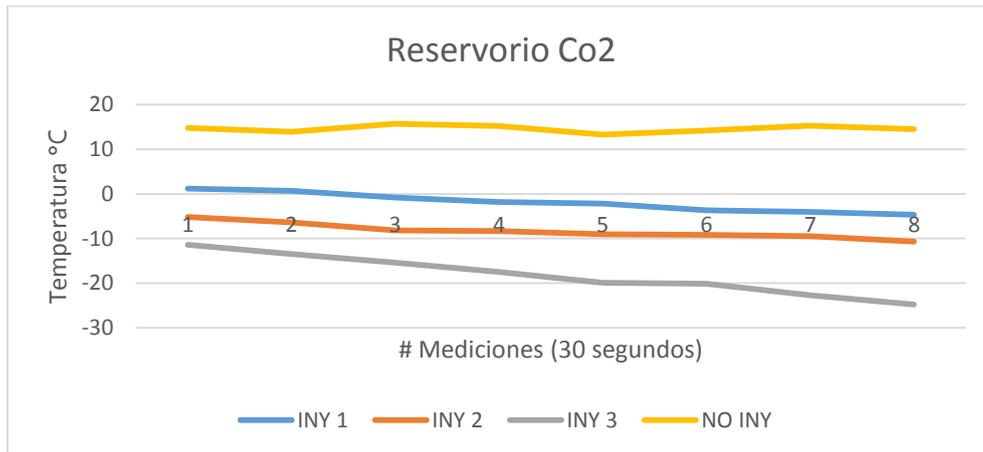


Figura 105. Temperatura en el reservorio de CO2 tras la inyección de 20 segundos.

Siendo subsiguiente el depósito, este punto se encuentra con temperaturas similares a su predecesor, encontrándose temperaturas inferiores a los $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la inyección 3 que llega a $-4.9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

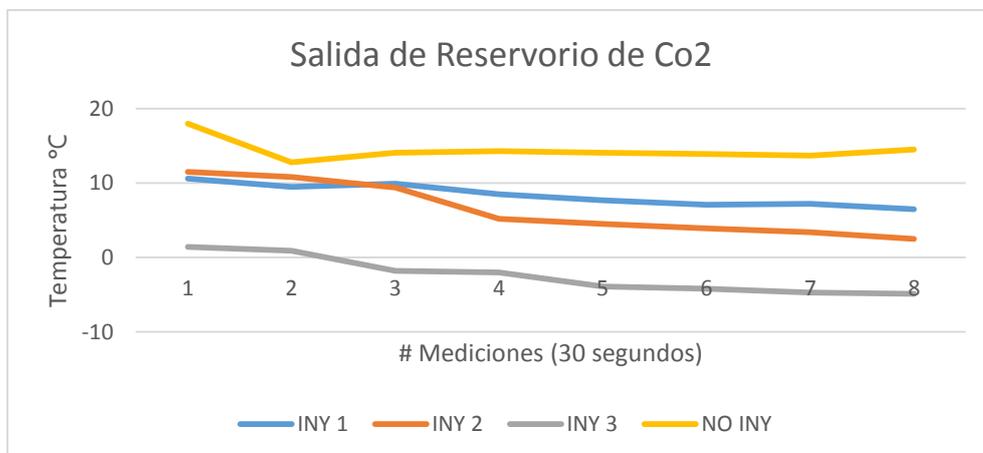


Figura 106. Temperatura a la salida del reservorio de CO2 tras la inyección de 20 segundos

La entrada al bulbo metálico reduce su temperatura paulatinamente a lo largo de todo el tiempo de descanso, iniciando con valores superiores a los 20 °C y cerrando 4 minutos después con valores entre los 18 °C, la inyección 1 presenta valores superiores al que se obtuvieron en condiciones estándar desde los 2 minutos de medición hasta llegar a 22.4 °C frente a los 18.4 °C que se tabularon en condiciones normales de funcionamiento.

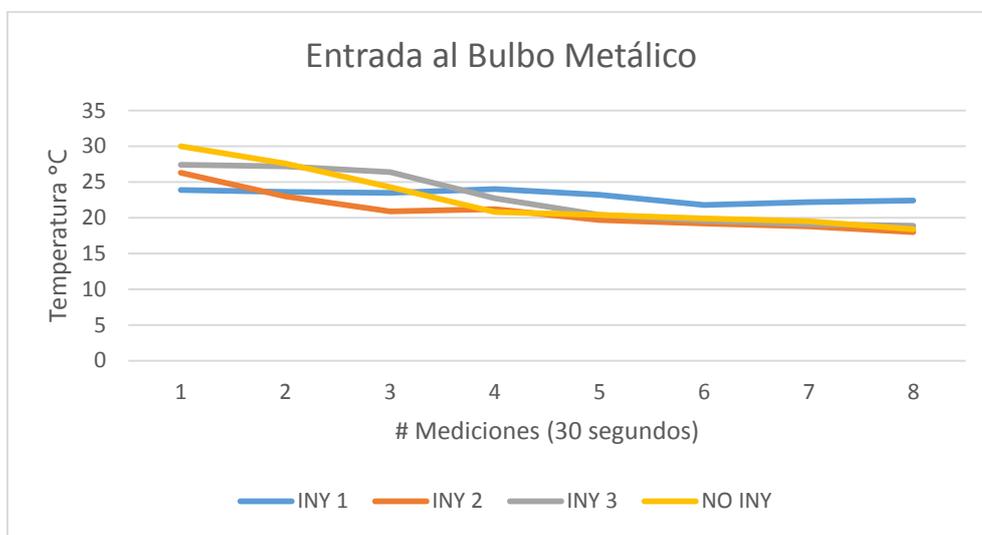


Figura 107. Temperatura a la entrada del bulbo metálico tras la inyección de 20 segundos

Todas las inyecciones realizadas registran temperaturas menores con respecto a la que se tomó sin inyectar CO₂, existe un pico al transcurrido el primer minuto de prueba donde se observa que sin inyección 16.3 °C son anotados, temperatura similar a la registrada en la inyección, la mejor inyección en este caso es la segunda.

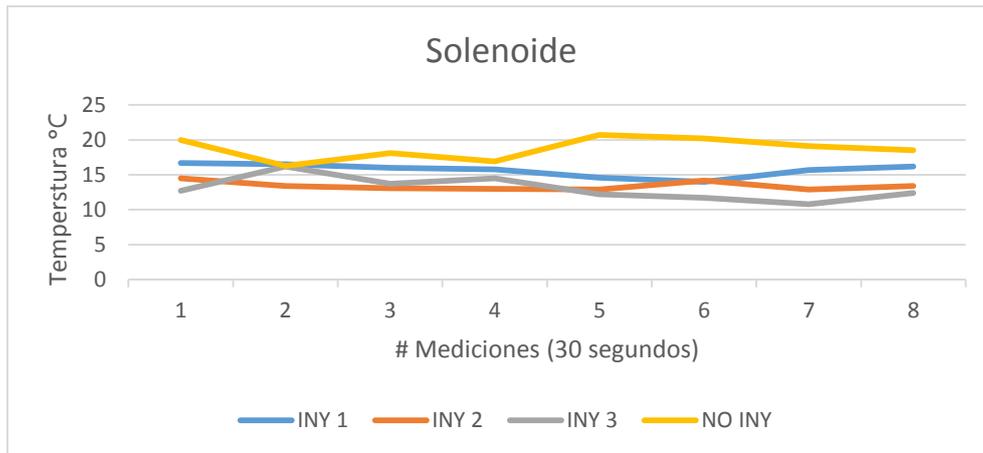


Figura 108. Temperatura en el solenoide tras la inyección de 20 segundos

Siendo el punto de mayor incidencia a lo largo de todo el recorrido del kit, para el mayor tiempo de inyección la tendencia de este es reducir su temperatura al instante iniciando a los 30 segundos con temperaturas de $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ con el transcurso del tiempo a los 4 minutos llega a registrar valores de $-11.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, suficientes para enfriar por convección el aire que ingresa hacia el carburador.

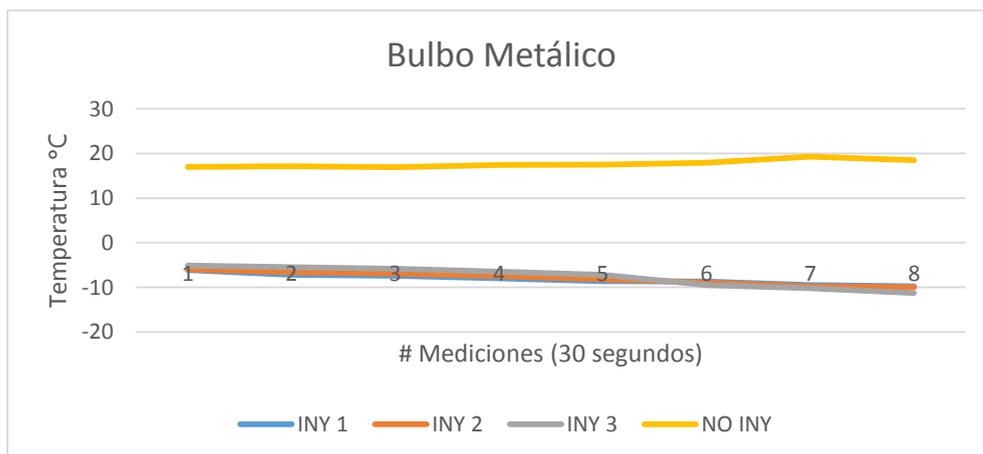


Figura 109. Temperatura en el bulbo metálico tras la inyección de 20 segundos

La entrada al carburador, tiene una reducción en su temperatura en todas las mediciones, tras inyectar CO_2 estas se estabilizan entre $22\text{ y }20\text{ }^{\circ}\text{C}$, en la séptima medición estas se

reducen hasta los 19.8 °C, en condicione estándar en el mismo punto de medición 24.2 °C.

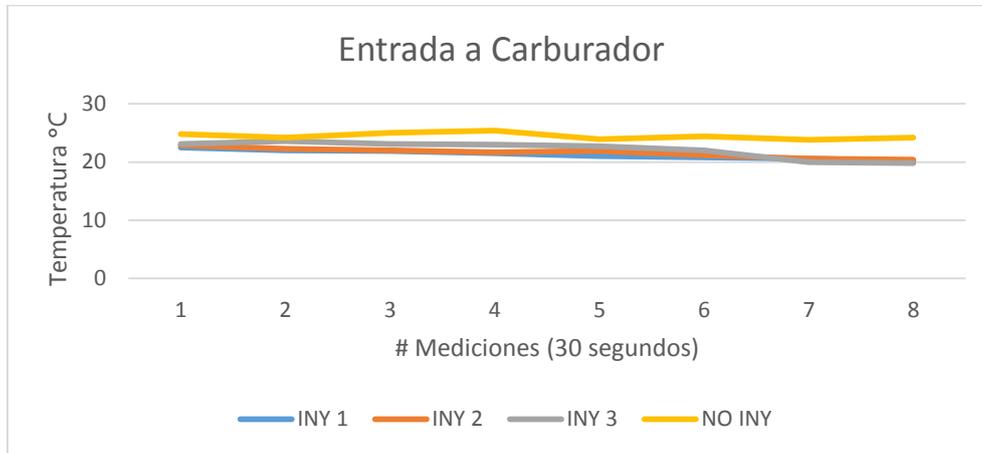


Figura 110. Temperatura a la entrada del carburador tras la inyección de 20 segundos

El comportamiento de las temperaturas a la salida del bulbo metálico, es similar pero las temperaturas registradas cuando se realizó la inyección del kit, reflejan un decremento de las mismas de 39 °C con mayor en condiciones normales hasta 33 °C como la menor luego de que el CO₂ recorra el kit por 20 segundos.

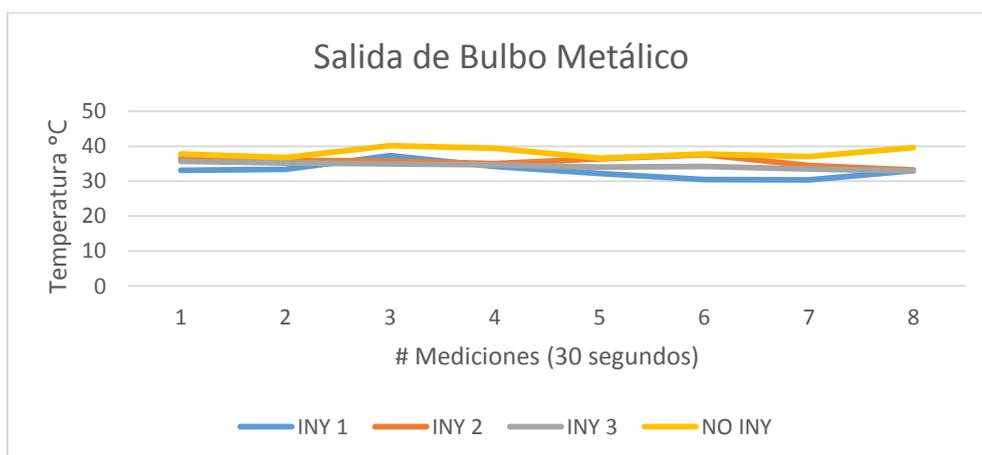


Figura 111. Temperatura a la salida del bulbo metálico tras la inyección de 20 segundos

La entrada al encamisado muestra temperaturas superiores a los 30 °C tanto en inyección

como condiciones estándar, la inyección 3 presenta variación notoria transcurridos dos minutos de descanso comienza la reducción hasta cerrar con un valor de 24.6 °C.

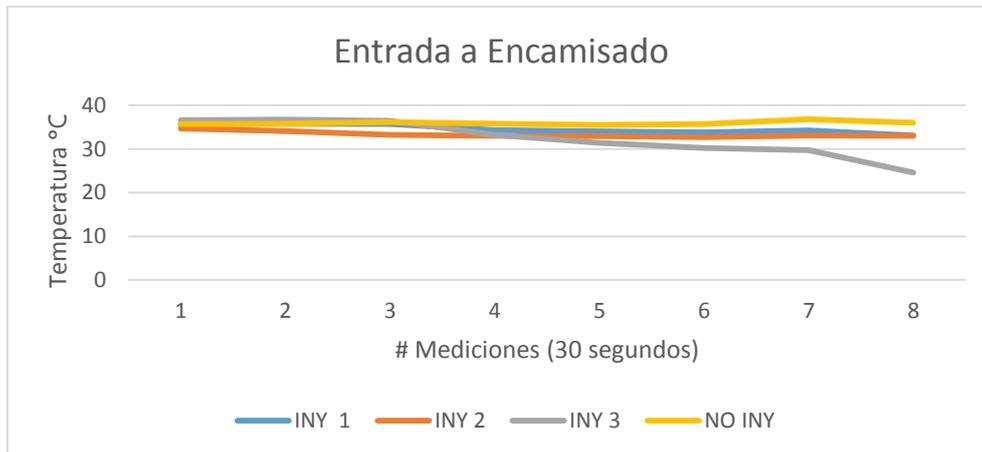


Figura 112. Temperatura a la entrada del encamisado tras la inyección de 20 segundos

Finalmente este punto de toma de datos refleja una reducción en todas sus mediciones tras la inyección en comparación a las condiciones estándar del vehículo llegando a reducir hasta en 34.2 °C la temperatura de este punto en la prueba tres al concluir el tiempo de descanso.

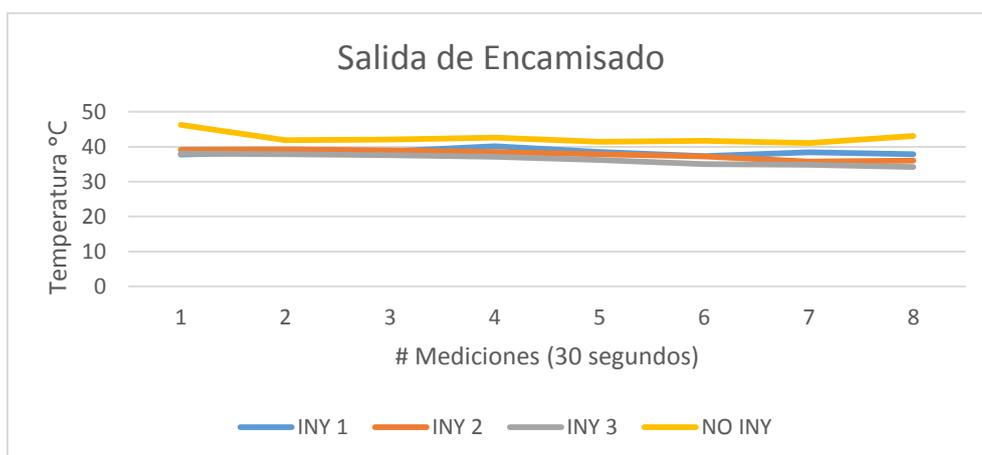


Figura 113. Temperatura a la salida del encamisado tras la inyección de 20 segundos

4.8.2. Emisiones de gases de Escape

Aquí se registraron los datos después de la inyección de anhídrido carbónico en la admisión y entrada de combustible a combinaciones directamente proporcionales de tiempo inyección/descanso.

a. Inyección de anhídrido Carbónico de 5 segundos

En este ítem podemos observar el comportamiento de los gases de escape en prueba continua, el tiempo de toma de datos es 1 minuto (los datos fueron tomados cada 10 segundos) luego de 5 segundos de inyección, se realizaron tres pruebas similares a fin de establecer una tendencia de los gases, además de descartar errores en la medición.

Tabla 35.

Inyección de Anhídrido Carbónico de 5 segundos con descanso de 1 minuto.

Toma de Temperaturas inyectando anhídrido Carbónico								
Prueba: 1								
Tiempo de Inyección: 20 segundos								
Tiempo de Descanso: 4 minutos								
Intervalo de tiempos en la toma de datos: 10 Segundos								
# Medición	r.p.m	LAMBDA [-]	CO [%Vol]	TEM P [°C]	CO2 [%Vol]	O2 [%Vol]	HC [ppm/Vol]	NO [ppm/Vol]
1	3860	0.916	3.8	74	12.3	0.74	257	209
2	3940	0.916	3.8	74	12.3	0.74	257	209
3	4100	0.913	3.61	75	12.3	0.68	243	206
4	4130	0.914	3.76	76	12.4	0.66	259	230
5	4140	0.906	3.86	77	12.4	0.51	245	230
6	4150	0.906	3.77	79	12.4	0.47	239	232
7	4200	0.903	3.85	80	12.5	0.43	236	234
8	4210	0.9	3.94	80	12.4	0.42	236	234
9	4210	0.898	4	81	12.4	0.39	234	237
10	3280	0.895	4.06	82	12.3	0.38	234	237
11	4210	0.923	3.07	83	13	0.42	250	182
12	4260	0.921	3.16	83	12.8	0.42	218	238
13	4260	0.896	4.02	84	12.4	0.36	229	245

CONTINÚA →

14	4280	0.893	4.09	85	12.3	0.34	231	245
15	4280	0.891	4.12	85	12.3	0.32	232	242
16	4290	0.89	4.16	86	12.3	0.31	232	244
17	4290	0.89	4.15	86	12.3	0.31	232	243
18	4290	0.888	4.25	87	12.3	0.3	232	244
19	4300	0.886	4.29	87	12.2	0.3	231	239
20	4300	0.885	4.34	88	12.2	0.29	230	238
21	4300	0.885	4.32	88	12.2	0.29	230	237
22	4320	0.886	4.3	89	12.2	0.29	230	238
23	4320	0.885	4.31	89	12.2	0.28	228	241
24	4320	0.885	4.32	90	12.2	0.28	228	241

Toma de Temperaturas inyectando anhídrido Carbónico

Prueba: 2

Tiempo de Inyección: **20 segundos**

Tiempo de Descanso: **4 minutos**

Intervalo de tiempos en la toma de datos: **10 Segundos**

# Medición	r.p.m	LAMBDA [-]	CO [%Vol]	TEM P [°C]	CO2 [%Vol]	O2 [%Vol]	HC [ppm/Vol]	NO [ppm/Vol]
1	4260	0.938	3.78	83	12.3	1.24	270	234
2	4270	0.917	3.93	84	12.2	0.86	259	235
3	4280	0.908	4.02	86	12.2	0.68	255	234
4	4280	0.903	4.06	86	12.2	0.58	248	233
5	4270	0.9	4.09	87	12.3	0.51	246	233
6	4280	0.898	4.07	88	12.3	0.46	244	238
7	4290	0.893	4.23	88	12.3	0.43	243	236
8	4300	0.891	4.21	89	12.2	0.39	242	234
9	4310	0.91	4.21	90	12.2	0.37	240	234
10	4310	0.889	4.26	90	12.2	0.35	239	235
11	4310	0.887	4.34	91	12.2	0.34	238	234
12	4320	0.886	4.1	91	12.1	0.33	238	235
13	4320	0.885	4.34	92	12.1	0.32	236	235
14	4300	0.884	4.35	92	12.1	0.31	235	234
15	4260	0.886	4.3	92	12.2	0.31	234	234
16	4260	0.886	4.28	93	12.2	0.3	233	234
17	4270	0.886	4.28	93	12.2	0.3	234	234
18	4270	0.886	4.32	94	12.2	0.3	233	230
19	4280	0.886	4.3	94	12.2	0.29	233	229
20	4280	0.884	4.35	95	12.2	0.28	232	230
21	4290	0.885	4.33	95	12.2	0.28	231	232
22	4290	0.884	4.37	96	12.2	0.28	231	232
23	4290	0.883	4.33	96	12.1	0.27	230	230
24	4300	0.884	4.32	96	12.2	0.27	229	231

Toma de Temperaturas inyectando anhídrido Carbónico

Prueba: 3

Tiempo de Inyección: **40 segundos**

Tiempo de Descanso: **4 minutos**

Intervalo de tiempos en la toma de datos: **10 Segundos**

# Medición	r.p.m	LAMBDA [-]	CO [%Vol]	TEM P [°C]	CO2 [%Vol]	O2 [%Vol]	HC [ppm/Vol]	NO [ppm/Vol]
1	4050	0.946	3.41	86	12.5	1.16	218	208
2	4080	0.933	3.47	87	12.5	0.88	211	215

CONTINÚA →

3	4070	0.925	3.52	88	12.5	0.73	207	220
4	4070	0.922	3.48	89	12.5	0.63	204	227
5	4070	0.92	3.47	89	12.6	0.56	201	230
6	4080	0.918	3.46	90	12.6	0.51	199	232
7	4080	0.915	3.5	91	12.6	0.46	199	233
8	4080	0.913	3.51	91	12.6	0.44	199	233
9	4090	0.914	3.47	92	12.7	0.41	198	232
10	4110	0.913	3.48	92	12.7	0.39	197	232
11	4110	0.912	3.48	92	12.7	0.37	197	238
12	4110	0.911	3.49	93	12.7	0.35	197	238
13	4110	0.908	3.6	94	12.7	0.34	197	237
14	4130	0.905	3.68	94	12.6	0.33	197	233
15	4120	0.905	3.67	94	12.6	0.32	196	234
16	4120	0.903	3.71	95	12.6	0.31	196	235
17	4140	0.902	3.74	95	12.5	0.31	196	234
18	4140	0.9	3.79	95	12.5	0.3	198	235
19	4140	0.901	3.75	96	12.5	0.3	199	235
20	4150	0.9	3.79	96	12.5	0.29	198	237
21	4120	0.9	3.78	96	12.5	0.29	198	237
22	4130	0.9	3.81	97	12.5	0.29	198	236
23	4130	0.899	3.82	97	12.5	0.28	198	234
24	3750	0.899	3.80	97	12.5	0.28	198	234

Toma de Temperaturas inyectando anhídrido Carbónico

Prueba: 1

Tiempo de Inyección: 5 segundos

Tiempo de Descanso: 1 minuto

Intervalo de tiempos en la toma de datos: 10 Segundos

# Medición n	r.p. m	LAMBD A [-]	CO [%Vol]	TEMP [°C]	CO2 [%Vol]]	O2 [%Vol]	HC [ppm/Vol]]	NO [ppm/Vol]]
1	4210	0.92	3.78	86	12.3	0.8	261	218
2	4220	0.903	4.13	87	12.1	0.64	246	211
3	4230	0.897	4.26	88	12	0.57	240	211
4	4240	0.894	4.29	89	12	0.51	234	211
5	4290	0.891	4.32	90	12	0.47	229	212
6	4310	0.888	4.37	91	12	0.42	223	218

Toma de Temperaturas inyectando anhídrido Carbónico

Prueba: 2

Tiempo de Inyección: 5 segundos

Tiempo de Descanso: 1 minuto

Intervalo de tiempos en la toma de datos: 10 Segundos

# Medición n	r.p. m	LAMBD A [-]	CO [%Vol]	TEMP [°C]	CO2 [%Vol]]	O2 [%Vol]	HC [ppm/Vol]]	NO [ppm/Vol]]
1	4300	0.892	4.11	89	12.3	0.39	308	207
2	4310	0.887	4.24	90	12.2	0.34	298	213
3	4350	0.886	4.28	91	12.2	0.32	284	215
4	4350	0.883	4.36	92	12.1	0.3	276	221
5	4340	0.881	4.43	92	12.1	0.29	270	222
6	4360	0.88	4.47	93	12.1	0.28	264	221

Toma de Temperaturas inyectando anhídrido Carbónico

Prueba: 3

Tiempo de Inyección: 5 segundos

Tiempo de Descanso: 1 minuto

Intervalo de tiempos en la toma de datos: 10 Segundos

#	r.p.	LAMBD	CO [%Vol]	TEMP	CO2	O2	HC	NO
---	------	-------	-----------	------	-----	----	----	----

CONTINÚA →

Medició n	m	A [-]		[°C]	[%Vol]	[%Vol]	[ppm/Vol]	[ppm/Vol]
1	4110	0.892	4.26	92	12.1	0.6	451	178
2	4120	0.895	4.02	93	12.4	0.42	336	200
3	4120	0.888	4.17	93	12.3	0.32	312	204
4	4130	0.885	4.23	94	12.2	0.3	295	204
5	4140	0.883	4.32	95	12.2	0.29	285	203
6	4140	0.882	4.33	96	12.2	0.28	284	202

En Figura 114 se observó los niveles de Oxido de Carbono a pesar de iniciar por encima de 3.59 % de Volumen a 4480 r.p.m (valor tomado en condiciones estándar), disminuye inmediatamente obteniendo un promedio de 4.19 % de volumen a 4250 r.p.m, valor inferior al 4.35 % de volumen tomado sin la inyección de Anhídrido Carbónico.

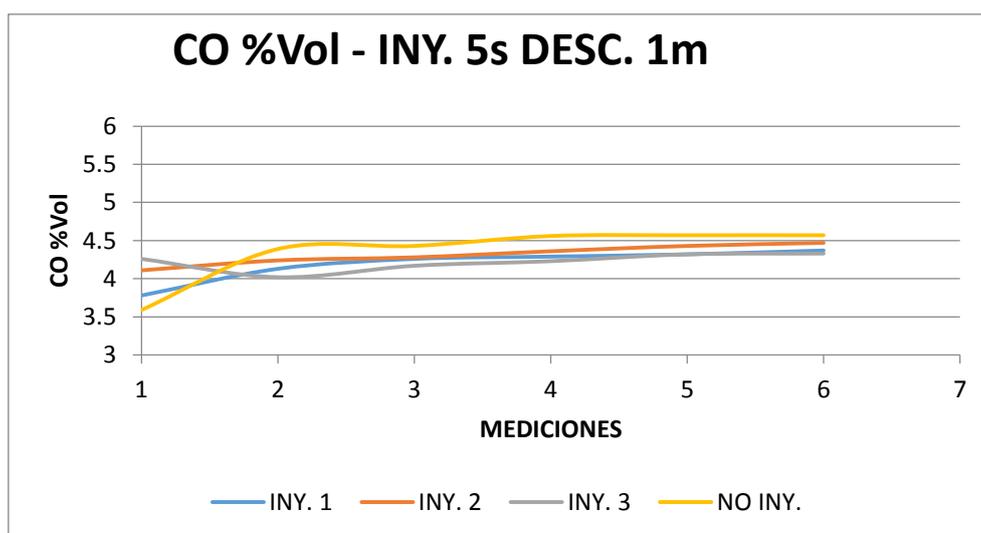


Figura 114. Oxido de Carbono al inyectar anhídrido carbónico 5 segundos (descanso 1 minuto)

El comportamiento del Dióxido de Carbono se puede apreciar en la figura 115, sin inyectar Anhídrido Carbónico sus valores se mantienen por debajo del 12% de volumen, al aplicar CO₂ como agente refrigerante, estos valores se mantienen en 12 % de volumen a un régimen de giro de motor de 4511 y 4250 r.p.m respectivamente.

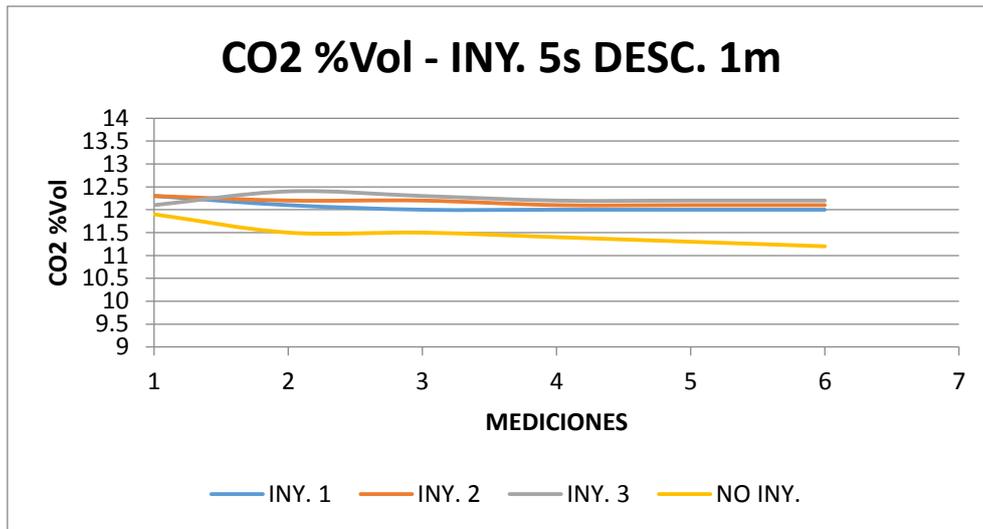


Figura 115. Dióxido de Carbono al inyectar anhídrido Carbónico 5 segundos (descanso 1 minuto)

Como se puede observar en la figura 116, los oxígenos decrecen evidentemente en cada una de las inyecciones en un 0.2 % de volumen, llegando a valores similares en las últimas dos mediciones con valores de 0.47 % de volumen a 4290 r.p.m y 0.42 % de volumen a 4310 r.p.m.

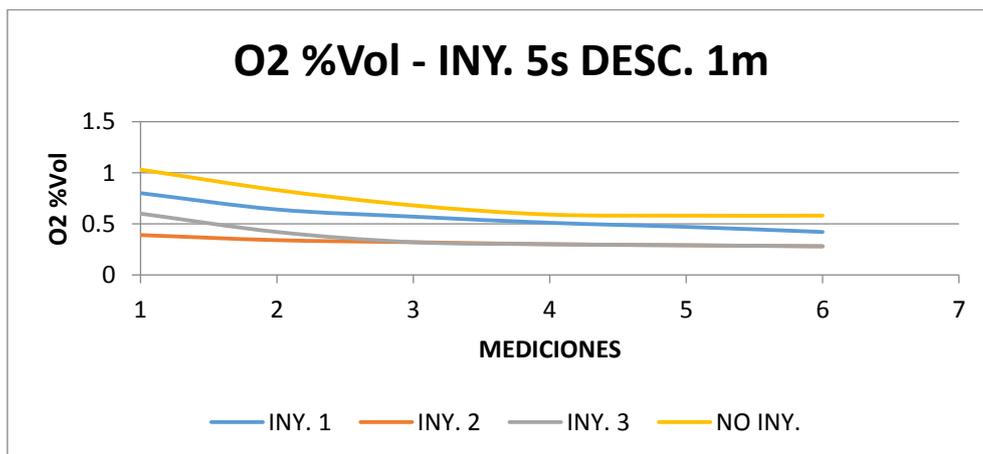


Figura 116. Oxígeno al inyectar anhídrido carbónico 5 segundos (descanso 1 minuto)

Los hidrocarburos aumentan tras la inyección de CO₂ obteniendo valores por sobre los 300 ppm de volumen al inicio de la medición, valores que van disminuyendo conforme

aumenta el tiempo de descanso, manteniéndose en un rango de 200 a 300 ppm de volumen.

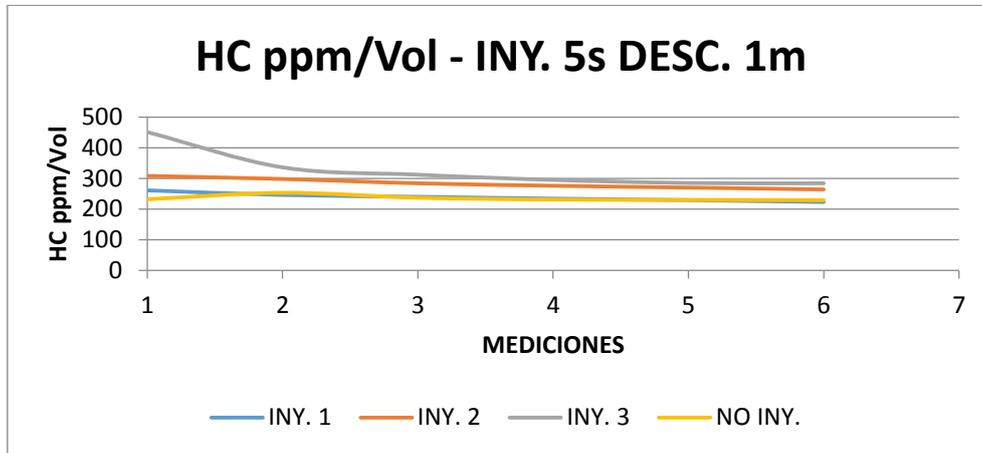


Figura 117. Hidrocarburos al inyectar anhídrido carbónico 5 segundos (descanso 1 minuto)

Los Óxidos de Nitrógeno decrecen 25 ppm de volumen en todas las inyecciones realizadas en comparación a la toma de datos en condiciones estándar

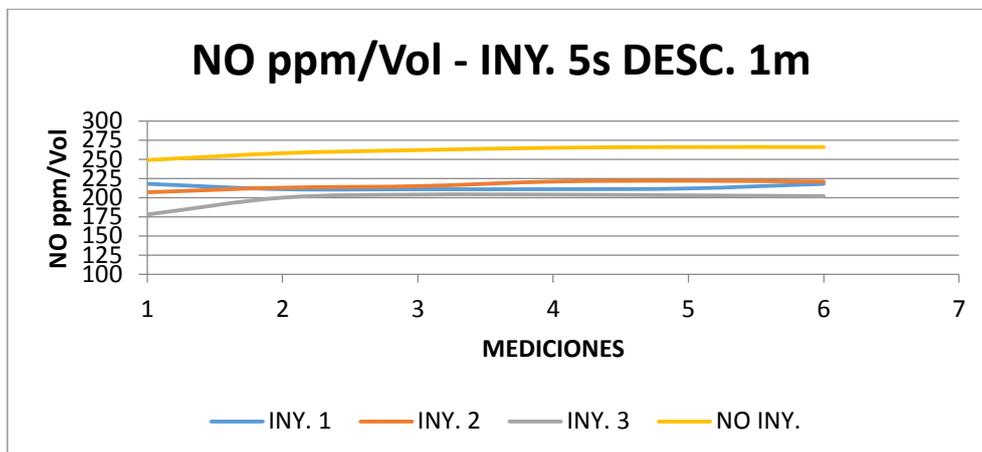


Figura 118. Óxido de Nitrógeno al inyectar anhídrido carbónico 5 segundos (descanso 1 minuto)

Lambda por su parte si presenta variación tras la inyección de CO₂, únicamente la inyección 1 presenta valores superiores de lambda a partir de los 20 segundos de medición presentando promedios de medición de 0.8946 frente a los 0.8906 registrado en condiciones

estándar.

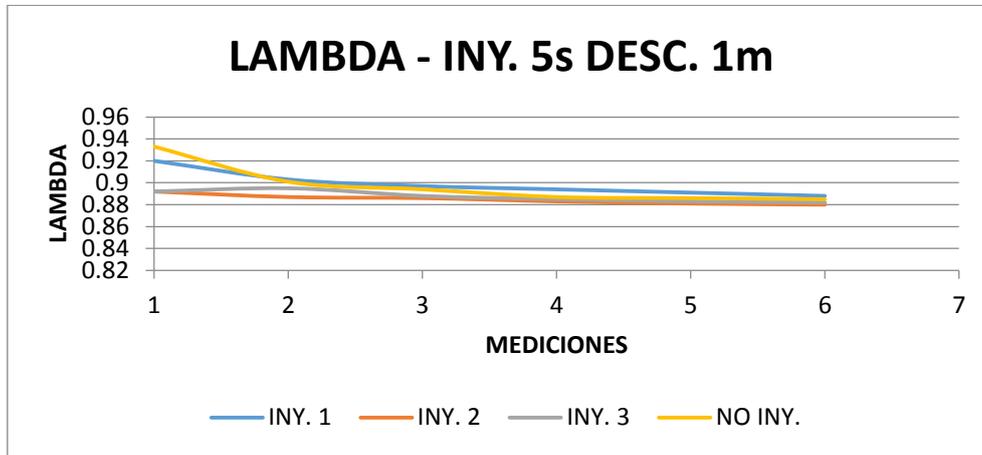


Figura 119. Lambda al inyectar anhídrido carbónico 5 segundos (descanso 1 minuto)

b. Inyección de anhídrido Carbónico de 10 segundos

Con los datos obtenidos en prueba continua, el tiempo de descanso aumenta en un minuto en relación a la anterior inyección, el régimen de giro se mantiene de 3500 a 5000 r.p.m.

Tabla 36.

Inyección de anhídrido carbónico de 10 segundos (descanso 2 minutos)

Toma de Temperaturas inyectando anhídrido Carbónico								
Prueba: 1								
Tiempo de Inyección: 10 segundos								
Tiempo de Descanso: 2 minutos								
Intervalo de tiempos en la toma de datos: 10 Segundos								
# Medición	r.p.m	LAMBDA [-]	CO [%Vol]	TEMP [°C]	CO2 [%Vol]	O2 [%Vol]	HC [ppm/Vol]	NO [ppm/Vol]
1	4500	0.897	4.04	82	12.4	0.45	361	230
2	4460	0.9	3.74	83	12.6	0.35	317	266
3	4480	0.9	3.72	84	12.6	0.31	292	281
4	4480	0.9	3.72	84	12.6	0.31	292	281
5	4500	0.898	3.8	86	12.6	0.3	278	281
6	4500	0.895	3.97	87	12.6	0.3	274	279
7	4520	0.889	4.18	87	12.5	0.29	269	273
8	4510	0.883	4.39	88	12.2	0.29	266	264
9	4510	0.882	4.42	89	12.2	0.28	263	256
Toma de Temperaturas inyectando anhídrido Carbónico								
Prueba: 2								

CONTINÚA →

Tiempo de Inyección: 10 segundos								
Tiempo de Descanso: 2 minutos								
Intervalo de tiempos en la toma de datos: 10 Segundos								
# Medición	r.p.m	LAMBDA [-]	CO [%Vol]	TEMP [°C]	CO2 [%Vol]	O2 [%Vol]	HC [ppm/Vol]	NO [ppm/Vol]
1	4450	0.903	3.74	84	12.6	0.46	386	232
2	4450	0.891	4.05	85	12.5	0.32	346	248
3	4590	0.888	4.08	86	12.3	0.29	330	259
4	4350	0.879	4.46	87	12.2	0.28	318	266
5	4380	0.882	4.29	88	12.2	0.27	308	241
6	4380	0.884	4.25	89	12.3	0.27	297	241
7	4390	0.885	4.22	90	12.3	0.28	291	241
8	4400	0.886	4.18	91	12.3	0.27	286	244
9	4380	0.89	4.07	91	12.4	0.27	278	248
Toma de Temperaturas inyectando anhídrido Carbónico								
Prueba: 3								
Tiempo de Inyección: 10 segundos								
Tiempo de Descanso: 2 minutos								
Intervalo de tiempos en la toma de datos: 10 Segundos								
# Medición	r.p.m	LAMBDA [-]	CO [%Vol]	TEMP [°C]	CO2 [%Vol]	O2 [%Vol]	HC [ppm/Vol]	NO [ppm/Vol]
1	4420	0.914	3.48	81	12.6	0.53	289	262
2	4450	0.897	3.9	83	12.4	0.35	283	258
3	4450	0.897	3.85	84	12.4	0.33	277	261
4	4470	0.895	3.93	86	12.4	0.3	252	268
5	4470	0.896	3.88	85	12.4	0.32	265	266
6	4470	0.895	3.93	86	12.4	0.3	252	269
7	4490	0.894	3.99	88	12.4	0.29	239	272
8	4490	0.894	3.98	88	12.4	0.29	236	271
9	4500	0.895	3.94	89	12.4	0.29	234	273

El Óxido de Carbono tiende a disminuir al inyectar CO₂, a excepción de la inyección 2 que a los 40 segundos presenta un pico alto de 4.46 % de volumen a 4350 rpm, la inyección 1 a partir de 80 segundos sobrepasa el valor tomado en condiciones estándar registrando valores de 4.39 y 4.42 % de volumen a 4510 r.p.m en ambos casos frente al 4.12 y 4.16 % de volumen a 4340 y 4350 r.p.m.

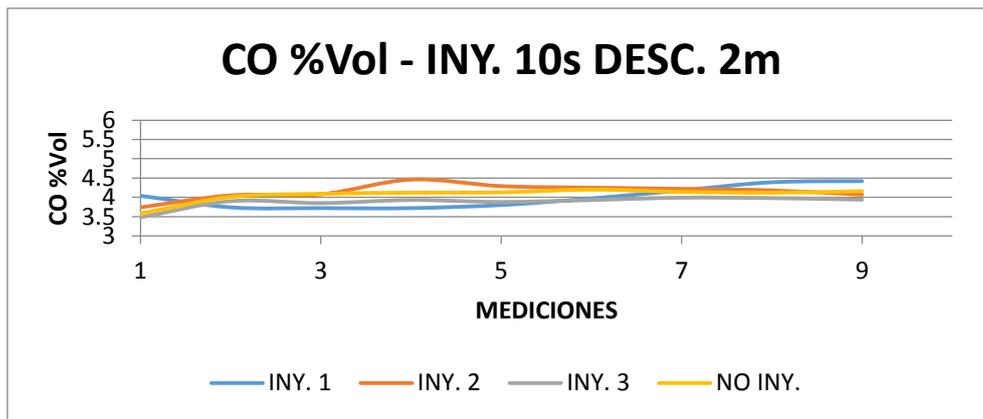


Figura 120. Óxido de Carbono al inyectar anhídrido carbónico 10 segundos (descanso 2 minutos)

El Dióxido de Carbono, presenta un incremento en sus valores tras la inyección de CO₂ de 12 a 12,5 % de volumen, tendencia que se mantiene a lo largo de toda la medición.

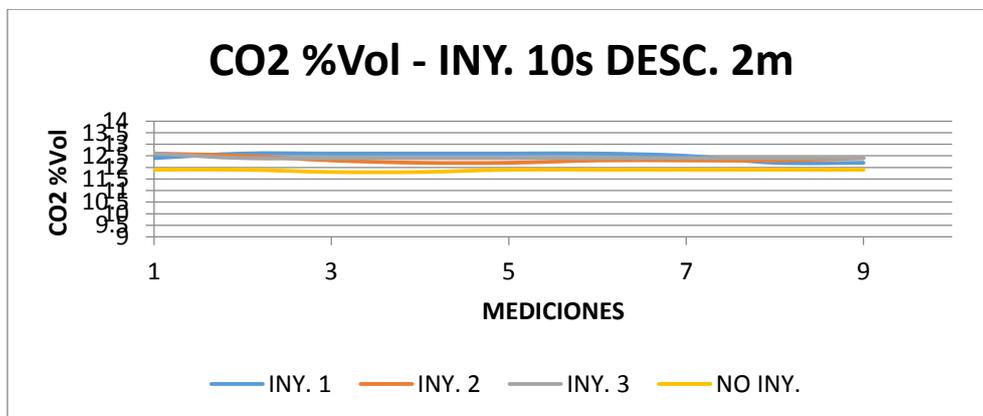


Figura 121. Dióxido de Carbono al inyectar anhídrido carbónico 10 segundos (descanso 2 minutos).

La medición de los Oxígenos revela una gran baja tras la inyección de CO₂, empezando con 3.54 % de Volumen en condiciones estándar a 4260 r.p.m, valor que culmina con 0.39 % de volumen a 4350 r.p.m las frente a un 0.45 % de volumen inicial a 4420 r.p.m y 0.28 % de volumen a 4380 r.p.m al final, valores similares en todas las inyecciones.

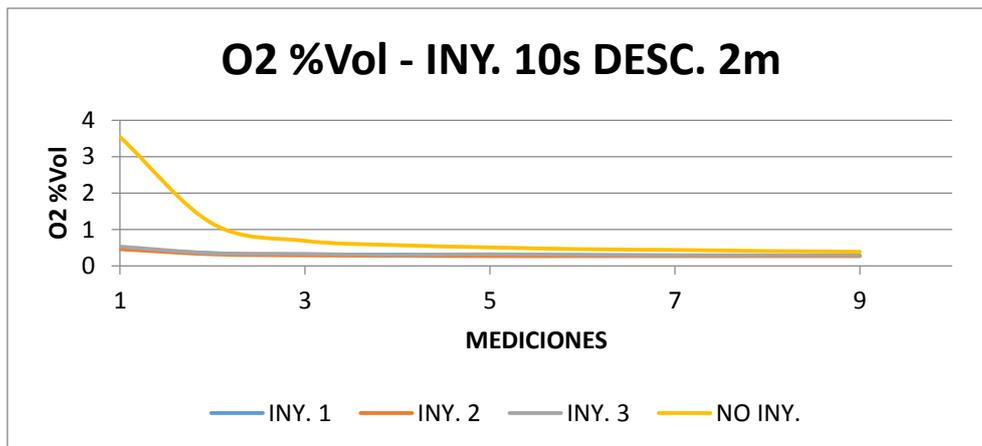


Figura 122. Oxígeno al inyectar anhídrido carbónico 10 segundos (descanso 2 minutos)

Los Hidrocarburos tienen una tendencia a la reducción, pero sus valores son mayores tras la inyección de CO₂ iniciando en valores superiores a las 250 ppm contrario a las 269 ppm registradas al inicio de la medición en condiciones estándar.

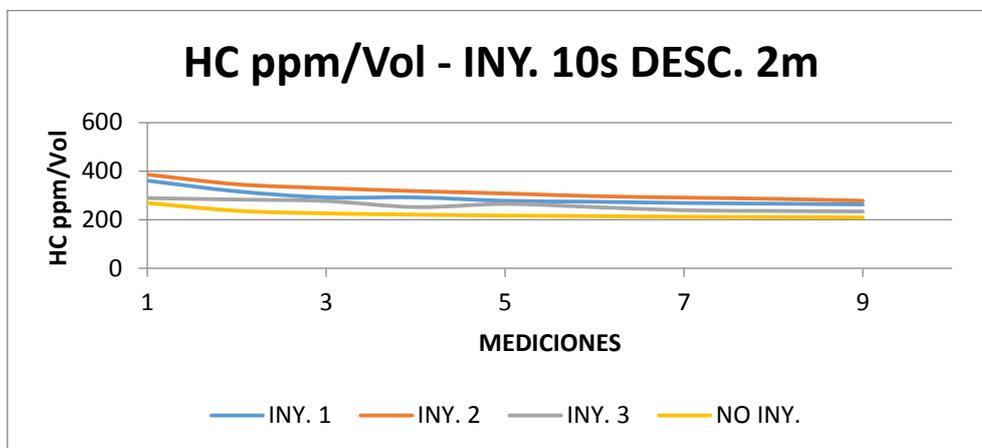


Figura 123. Hidrocarburos al inyectar anhídrido carbónico 10 segundos (descanso 2 minutos)

El Óxido de Nitrógeno es superior al medido en condiciones normales, se puede notar en la inyección 2, que alcanza a los 50 segundos un valor de 241 ppm a 4380 r.p.m frente a las 248 ppm de volumen a 4330 r.p.m tendencia que se mantiene hasta el final de la medición.

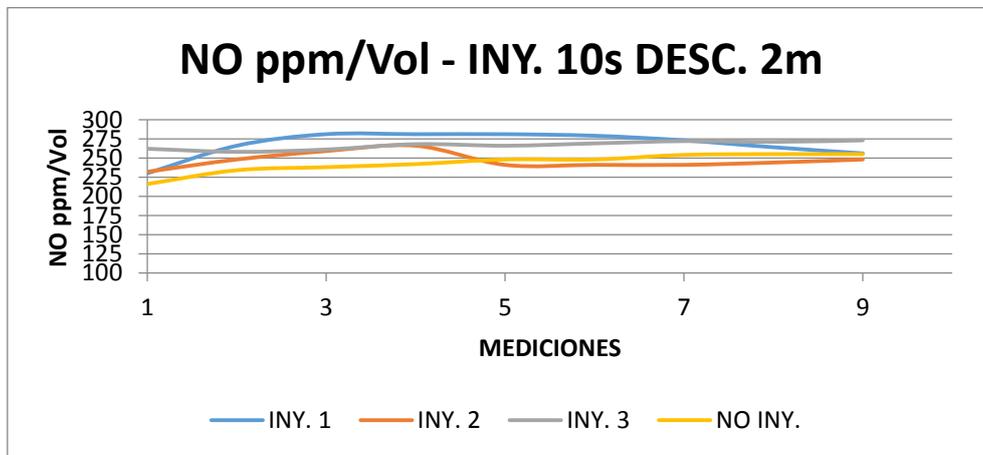


Figura 124. Óxido de Nitrógeno al inyectar anhídrido carbónico 10 segundos (descanso 2 minutos)

Lambda mantiene su tendencia a decrecer tras la inyección de CO₂, las inyecciones 1 y 3 presentan valores similares a los tomados en condiciones estándar desde los 30 hasta los 70 segundos de medición manteniendo sus mediciones bajo 0.9.

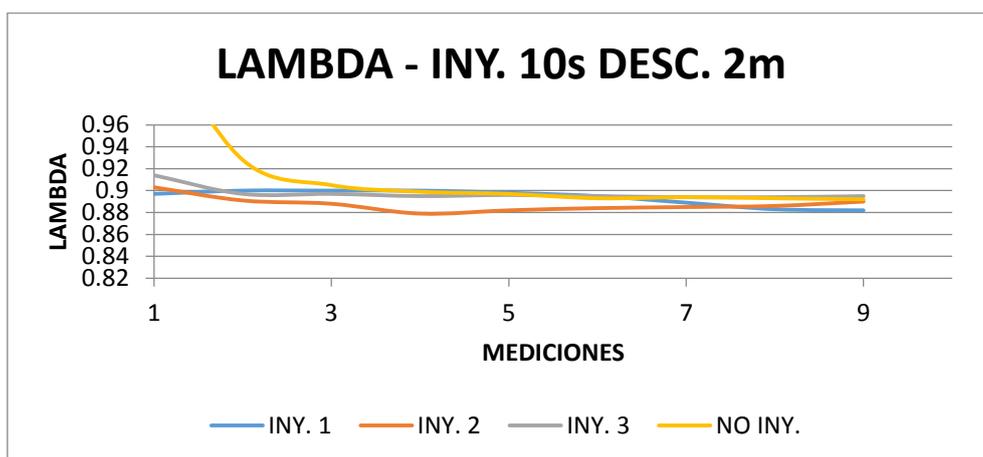


Figura 125. Lambda al inyectar anhídrido carbónico 10 segundos (descanso 2 minutos)

c. Inyección de anhídrido Carbónico de 15 segundos

En condiciones similares de funcionamiento del motor se muestran los datos tabulados de

la inyección de CO₂ por un periodo de 15 segundos, con un tiempo de descanso de 3 minutos entre cada inyección de esta duración.

Tabla 37.

Inyección de Anhídrido Carbónico de 15 segundos con descanso de 3 minutos

Toma de Temperaturas inyectando anhídrido Carbónico								
Prueba: 1								
Tiempo de Inyección: 15 segundos								
Tiempo de Descanso: 3 minutos								
Intervalo de tiempos en la toma de datos: 10 Segundos								
# Medición	r.p.m	LAMBDA [-]	CO [%Vol]	TEMP [°C]	CO ₂ [%Vol]	O ₂ [%Vol]	HC [ppm/Vol]	NO [ppm/Vol]
1	4570	0.903	4.35	85	12.1	0.78	270	246
2	4540	0.891	4.61	86	11.9	0.65	263	236
3	4370	0.89	4.51	87	11.9	0.56	248	242
4	4370	0.89	4.51	87	11.9	0.56	248	242
5	4390	0.896	4.22	88	12.1	0.51	238	224
6	4400	0.892	4.32	89	12.2	0.46	236	229
7	4410	0.891	4.31	90	12.2	0.43	234	229
8	4410	0.89	4.32	90	12.2	0.41	231	229
9	4410	0.89	4.26	91	12.2	0.38	229	231
10	4410	0.889	4.27	92	12.2	0.36	226	233
11	4420	0.889	4.3	92	12.3	0.34	226	234
12	4410	0.893	4.11	93	12.4	0.32	219	245
13	4430	0.893	4.06	94	12.4	0.31	219	251
14	4420	0.892	4.09	94	12.4	0.3	219	248
15	4430	0.893	4.04	95	12.4	0.29	216	252
16	4440	0.894	4.02	95	12.5	0.29	215	257
17	4440	0.895	3.99	96	12.5	0.29	213	256
18	4440	0.896	3.95	96	12.5	0.28	210	257
Toma de Temperaturas inyectando anhídrido Carbónico								
Prueba: 2								
Tiempo de Inyección: 15 segundos								
Tiempo de Descanso: 3 minutos								
Intervalo de tiempos en la toma de datos: 10 Segundos								
# Medición	r.p.m	LAMBDA [-]	CO [%Vol]	TEMP [°C]	CO ₂ [%Vol]	O ₂ [%Vol]	HC [ppm/Vol]	NO [ppm/Vol]
1	4410	0.902	4.29	84	12.3	0.73	307	237
2	4410	0.902	3.99	86	12.2	0.54	284	239
3	4430	0.894	4.25	86	12.2	0.47	273	238
4	4440	0.887	4.44	87	12.3	0.43	271	227
5	4440	0.886	4.44	89	12.2	0.4	266	227
6	4480	0.883	4.5	89	12.2	0.37	262	227
7	4490	0.881	4.57	90	12.1	0.36	258	228
8	4470	0.881	4.5	92	12.1	0.33	254	230
9	4480	0.889	4.23	92	12.3	0.32	247	245
10	4480	0.889	4.18	93	12.3	0.31	242	249
11	4480	0.889	4.21	93	12.4	0.3	238	250
12	4490	0.891	4.15	94	12.4	0.3	235	245
13	4500	0.889	4.2	91	12.4	0.29	235	249

CONTINÚA →

14	4500	0.889	4.18	95	12.4	0.28	233	251
15	4500	0.888	4.21	95	12.4	0.28	233	251
16	4500	0.888	4.22	96	12.4	0.27	232	252
17	4510	0.886	4.28	96	12.3	0.27	232	251
18	4510	0.885	4.31	97	12.3	0.26	230	251
Toma de Temperaturas inyectando anhídrido Carbónico								
Prueba: 3								
Tiempo de Inyección: 15 segundos								
Tiempo de Descanso: 3 minutos								
Intervalo de tiempos en la toma de datos: 10 Segundos								
# Medición	r.p.m	LAMBDA [-]	CO [%Vol]	TEMP [°C]	CO2 [%Vol]	O2 [%Vol]	HC [ppm/Vol]	NO [ppm/Vol]
1	4620	0.885	4.28	85	12.3	0.34	348	242
2	4620	0.877	4.54	86	12.2	0.29	332	249
3	4370	0.877	4.52	87	12.2	0.26	317	248
4	4370	0.89	4.02	88	12.5	0.26	297	245
5	4360	0.891	4.02	89	12.5	0.26	286	245
6	4370	0.889	4.12	89	12.5	0.26	283	243
7	4380	0.89	4.07	90	12.5	0.26	276	242
8	4390	0.889	4.07	91	12.4	0.26	270	242
9	4390	0.891	4.02	92	12.5	0.26	266	243
10	4390	0.892	4	92	12.5	0.26	261	249
11	4410	0.894	3.94	93	12.5	0.26	255	249
12	4410	0.892	4	93	12.5	0.26	251	249
13	4400	0.892	4	94	12.5	0.26	249	249
14	4410	0.893	3.99	94	12.5	0.26	246	249
15	4420	0.893	3.99	95	12.5	0.26	246	249
16	4420	0.893	3.97	95	12.5	0.26	242	250
17	4430	0.894	3.99	96	12.6	0.26	242	250
18	4430	0.894	3.99	96	12.6	0.26	238	252

El Óxido de Carbono empieza por sobre el 4.5 % de volumen en todas la inyecciones a diferencia del 3.6 % de volumen tomado en condiciones estándar, estos valores se equilibran a partir de los 90 segundos donde los valores del gas son ínfimamente menores con la inyección que en condiciones normales.

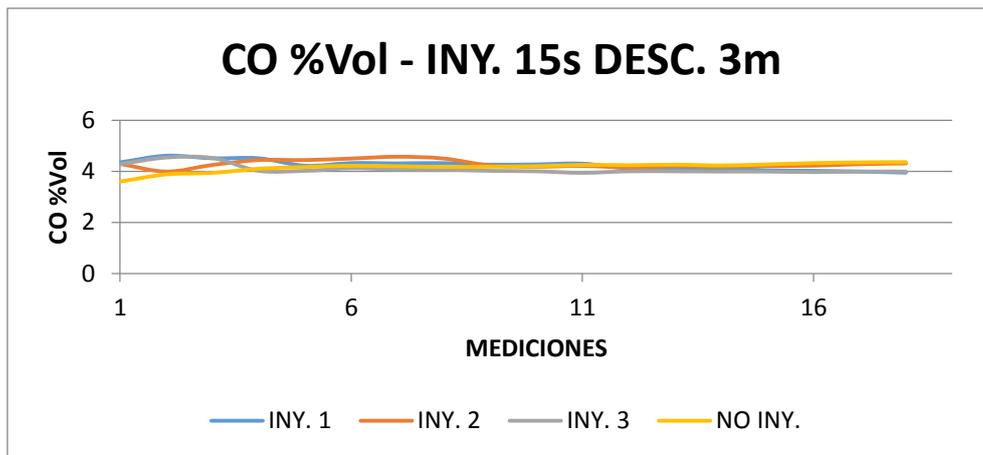


Figura 126. Oxido de Carbono al inyectar anhídrido carbónico 15 segundos (descanso 3 minutos)

El Dióxido de Carbono es menos en condiciones estándar, que al inyectar anhídrido carbónico por el lapso de 15 segundos, llegando a medir valores de 12.6 % de volumen en la prueba 3 a los 180 segundos de prueba.

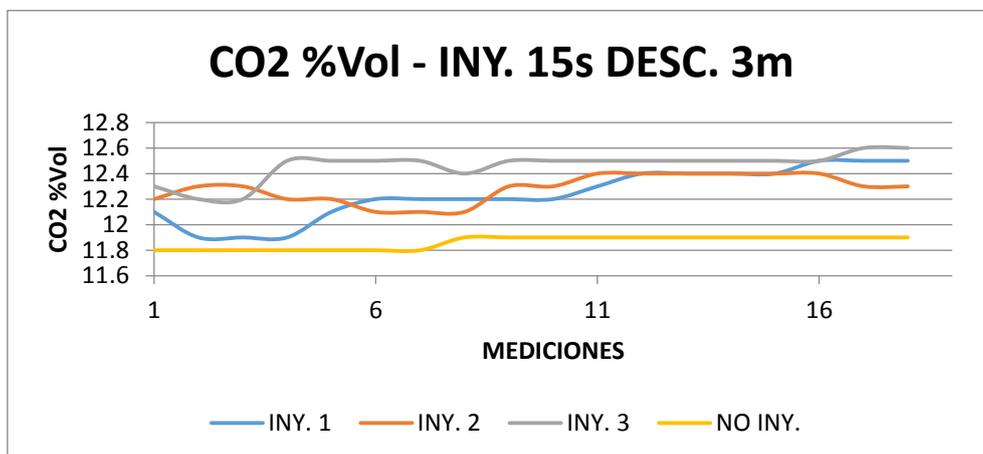


Figura 127. Dióxido de Carbono al inyectar anhídrido carbónico 15 segundos (descanso 3 minutos)

El Oxígeno disminuye en las inyecciones de CO₂ frente a las condiciones estándar, estos valores se estabilizan llegando a registrar valores similares inferiores al 0.5% de volumen.

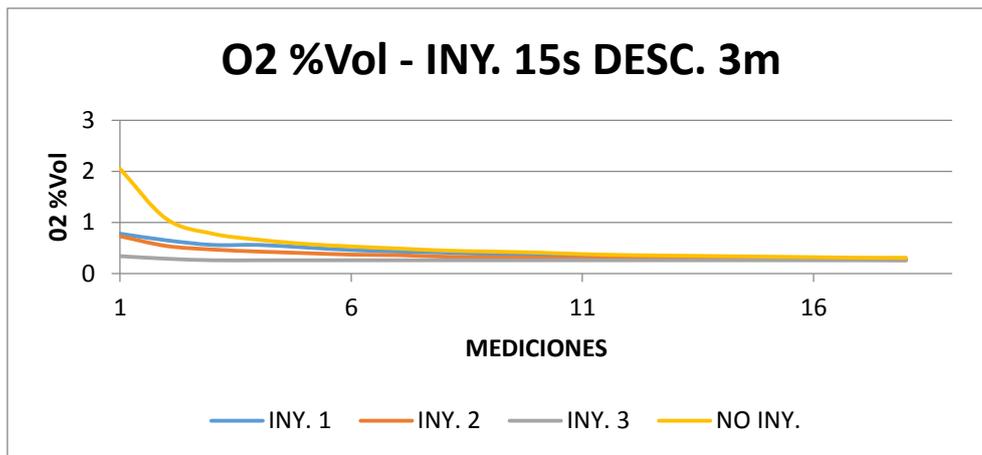


Figura 128. Oxígeno al inyectar anhídrido carbónico 15 segundos (descanso 3 minutos)

Los hidrocarburos comparten la misma tendencia de disminuir conforme pasa el tiempo a un elevado régimen de giro del motor (3500 a 5000 r.p.m), los calores registrados tras la inyección de CO₂ son mayores que el tomado en condiciones estándar, las inyecciones al transcurrir el tiempo se estabilizan en valores dentro de 200 y 250 ppm de volumen.

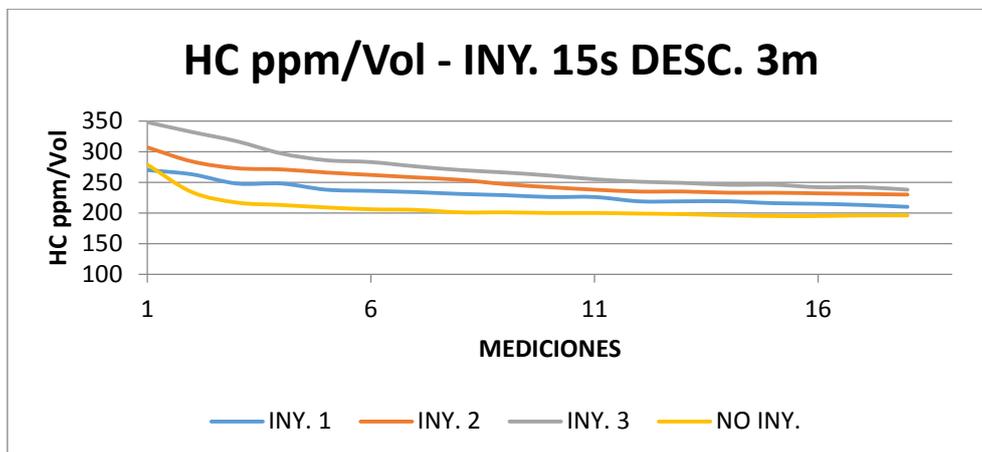


Figura 129. Hidrocarburos al inyectar anhídrido carbónico 15 segundos (descanso 3 minutos)

El Óxido de Nitrógeno disminuye tras pasar 30 segundos de medición al inyectar CO₂ estabilizándose en valores superiores a las 250 ppm de volumen pasados los 120 segundos de medición.

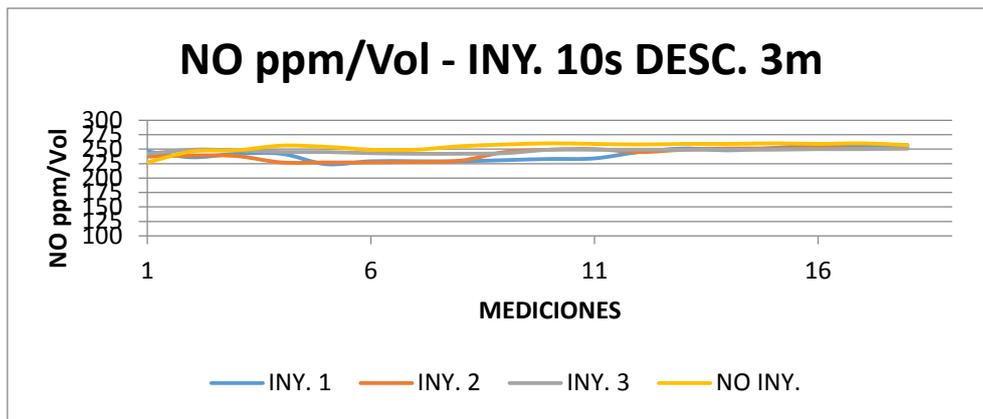


Figura 130. Óxido de Nitrógeno al inyectar anhídrido carbónico 15 segundos (descanso 3 minutos)

Lambda no cambia su tendencia, de disminuir al inyectar CO₂ en relación a las condiciones estándar, estos valores pretenden igualarse e incluso incrementar a partir de los 120 segundos de medición.

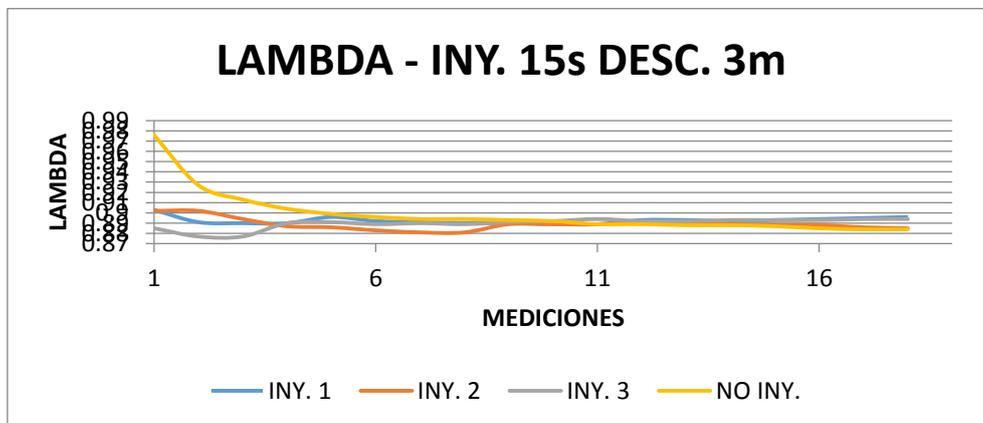


Figura 131. Lambda al inyectar anhídrido carbónico 15 segundos (descanso 3 minutos)

d. Inyección de Anhídrido Carbónico de 20 segundos

Siendo el mayor tiempo de inyección que puede soportar la válvula de paso o solenoide, se estableció un descanso de 4 minutos entre cada inyección y los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 38.

Inyección de Anhídrido Carbónico de 20 segundos con descanso de 4 minutos

Toma de Temperaturas inyectando anhídrido Carbónico								
Prueba: 1								
Tiempo de Inyección: 10 segundos								
Tiempo de Descanso: 2 minutos								
Intervalo de tiempos en la toma de datos: 10 Segundos								
# Medición	r.p.m	LAMBDA [-]	CO [%Vol]	TEMP [°C]	CO2 [%Vol]	O2 [%Vol]	HC [ppm/Vol]	NO [ppm/Vol]
1	4500	0.897	4.04	82	12.4	0.45	361	230
2	4460	0.9	3.74	83	12.6	0.35	317	266
3	4480	0.9	3.72	84	12.6	0.31	292	281
4	4480	0.9	3.72	84	12.6	0.31	292	281
5	4500	0.898	3.8	86	12.6	0.3	278	281
6	4500	0.895	3.97	87	12.6	0.3	274	279
7	4520	0.889	4.18	87	12.5	0.29	269	273
8	4510	0.883	4.39	88	12.2	0.29	266	264
9	4510	0.882	4.42	89	12.2	0.28	263	256
Toma de Temperaturas inyectando anhídrido Carbónico								
Prueba: 2								
Tiempo de Inyección: 10 segundos								
Tiempo de Descanso: 2 minutos								
Intervalo de tiempos en la toma de datos: 10 Segundos								
# Medición	r.p.m	LAMBDA [-]	CO [%Vol]	TEMP [°C]	CO2 [%Vol]	O2 [%Vol]	HC [ppm/Vol]	NO [ppm/Vol]
1	4450	0.903	3.74	84	12.6	0.46	386	232
2	4450	0.891	4.05	85	12.5	0.32	346	248
3	4590	0.888	4.08	86	12.3	0.29	330	259
4	4350	0.879	4.46	87	12.2	0.28	318	266
5	4380	0.882	4.29	88	12.2	0.27	308	241
6	4380	0.884	4.25	89	12.3	0.27	297	241
7	4390	0.885	4.22	90	12.3	0.28	291	241
8	4400	0.886	4.18	91	12.3	0.27	286	244
9	4380	0.89	4.07	91	12.4	0.27	278	248
Toma de Temperaturas inyectando anhídrido Carbónico								
Prueba: 3								
Tiempo de Inyección: 10 segundos								
Tiempo de Descanso: 2 minutos								
Intervalo de tiempos en la toma de datos: 10 Segundos								
# Medición	r.p.m	LAMBDA [-]	CO [%Vol]	TEMP [°C]	CO2 [%Vol]	O2 [%Vol]	HC [ppm/Vol]	NO [ppm/Vol]
1	4420	0.914	3.48	81	12.6	0.53	289	262
2	4450	0.897	3.9	83	12.4	0.35	283	258
3	4450	0.897	3.85	84	12.4	0.33	277	261
4	4470	0.895	3.93	86	12.4	0.3	252	268
5	4470	0.896	3.88	85	12.4	0.32	265	266
6	4470	0.895	3.93	86	12.4	0.3	252	269
7	4490	0.894	3.99	88	12.4	0.29	239	272
8	4490	0.894	3.98	88	12.4	0.29	236	271
9	4500	0.895	3.94	89	12.4	0.29	234	273

El Óxido de Carbono muestra valores inferiores en las tres inyecciones de CO2 en

relación a las mediciones tomadas en condiciones estándar, manteniéndose en su gran mayoría en valores de 4% de volumen o menos a diferencia de los datos sin inyección.

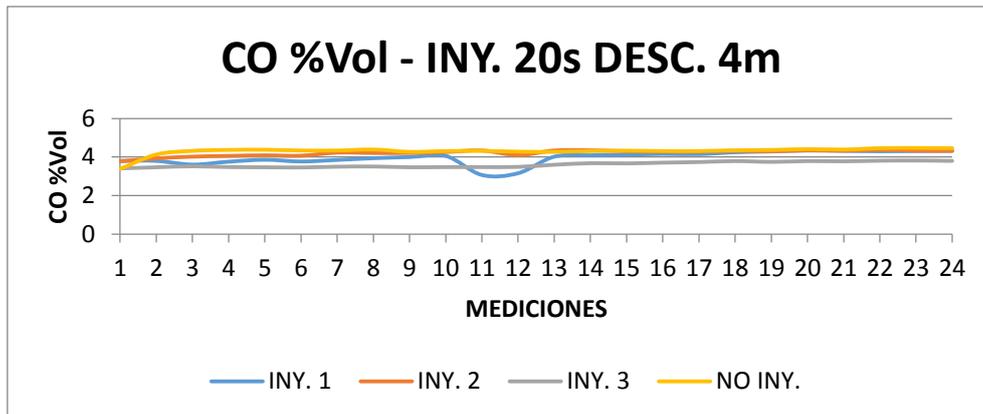


Figura 132. Oxido de Carbono al inyectar anhídrido carbónico 20 segundos (descanso 4 minutos)

El Dióxido de Carbono mantiene su tendencia al incremento al inyectar CO₂ elevando sus valores por encima del 12% de volumen en todo el tiempo de medición, los valores que se midieron en condiciones estándar se incrementan desde 11.7 % de volumen hasta 12% a lo largo de toda la medición.

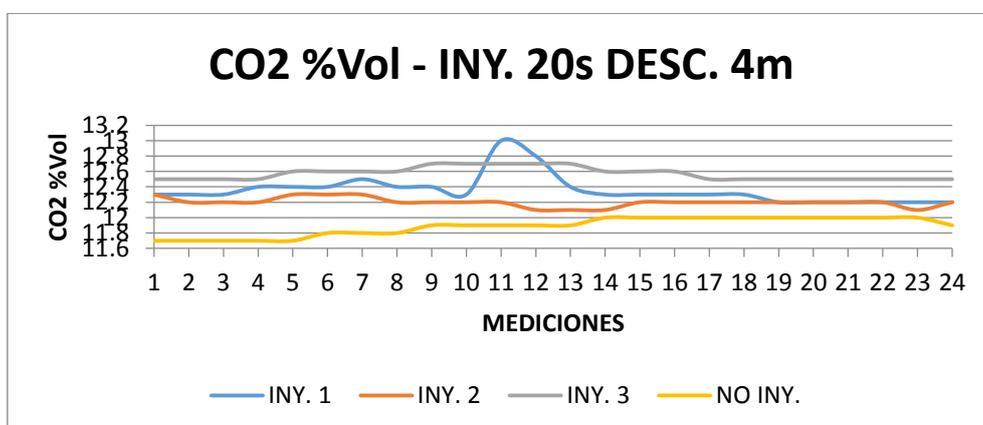


Figura 133. Dióxido de Carbono al inyectar anhídrido carbónico 20 segundos (descanso 4 minutos)

El oxígeno permanece parejo con y sin la inyección de anhídrido carbónico, a excepción del inicio de la medición en la que se aprecia un valor de 10.2 % de volumen de Oxígeno en condiciones estándar, frente a todas las inyecciones que registran al principio valores menores al 2 % de volumen de oxígeno.

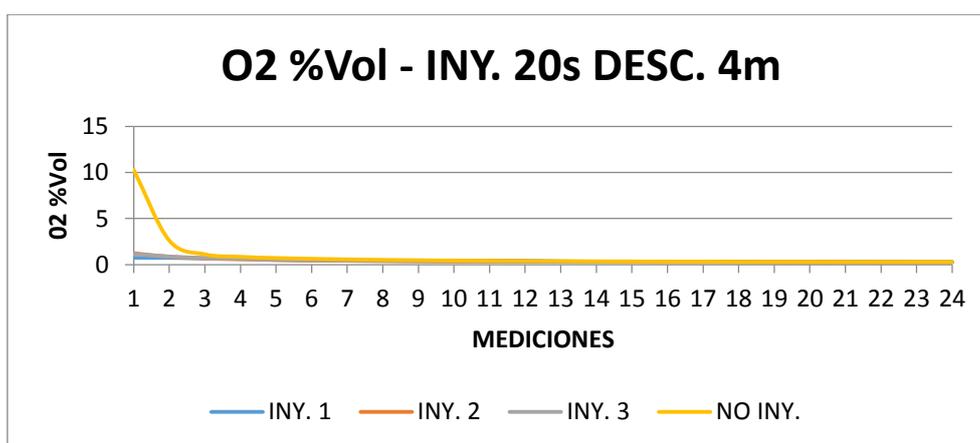


Figura 134. Oxígeno al inyectar anhídrido carbónico 20 segundos (descanso 4 minutos)

Los Hidrocarburos tienen su comportamiento decreciente, de inicio a fin las mediciones en condiciones estándar son menores a las que se registran con la inyección de CO₂ manteniéndose la primera en valores aproximados a las 200 ppm de volumen mientras que las otras tienen valores mayores (inyección 1 y 2) y similar en el caso de la tercera inyección.

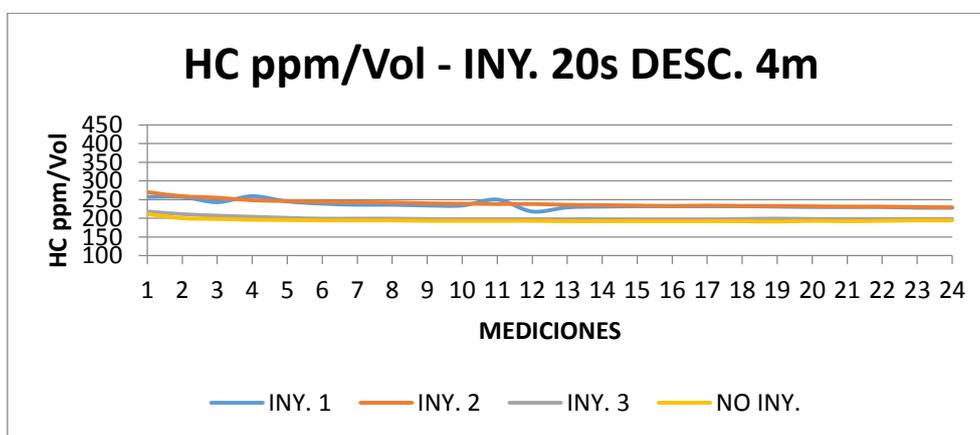


Figura 135. Hidrocarburos al inyectar anhídrido carbónico 20 segundos (descanso 4 minutos)

El Óxido de Nitrógeno desciende a lo largo de la medición al aplicar CO₂ observándose una baja a los 11 segundos en la inyección 1 llegando a registrar 182 ppm de volumen una diferencia abismal tomando en cuenta que la mayor parte de las mediciones permanecen entre 225 a 250 ppm de Volumen para todos los casos.

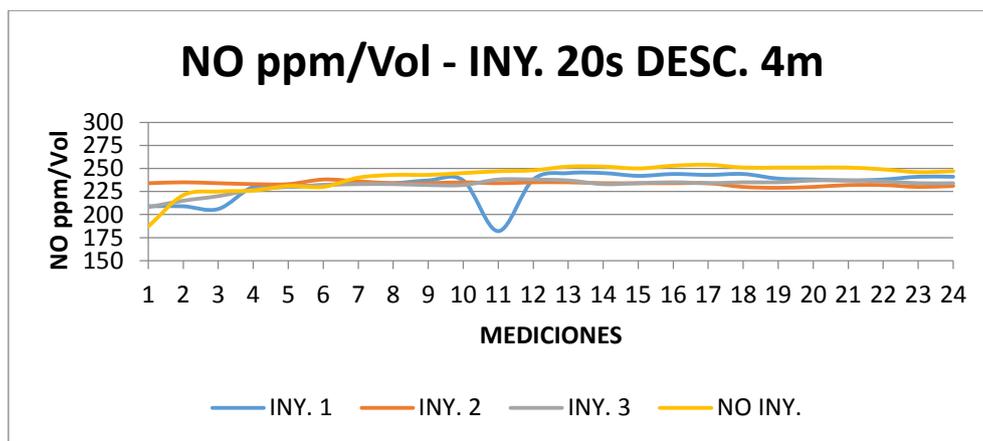


Figura 136. Óxido de Nitrógeno al inyectar anhídrido carbónico 20 segundos (descanso 4 minutos)

Lambda mantiene su comportamiento en todas las mediciones, sin ser esta la excepción todas las mediciones al inyectar CO₂ permanecen por debajo de la que se tomó en condiciones estándar, manteniéndose todos los valores por debajo de 1.

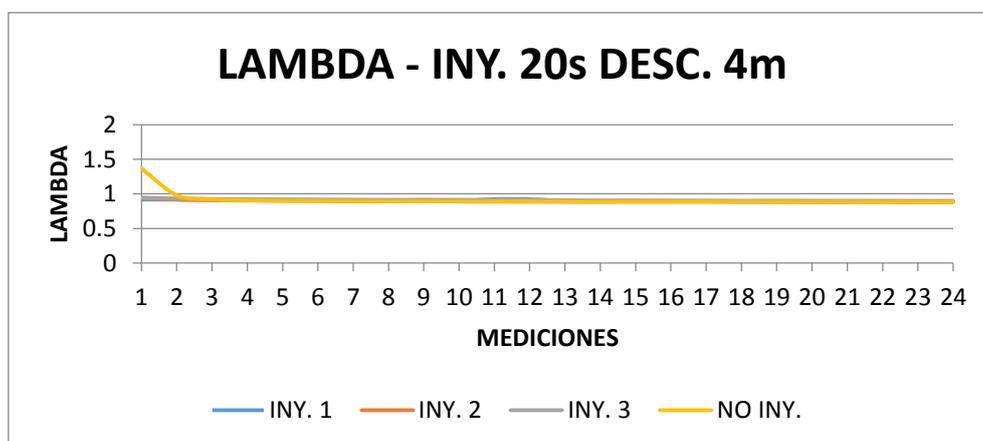


Figura 137. Lambda al inyectar anhídrido carbónico 20 segundos (descanso 4 minutos)

4.8.3. Torque y Potencia

Al buscar la mejor eficiencia del motor en la prueba del Dinamómetro de Rodillos DYNO-MAX “PRO”, se estableció la inyección más prolongada que puede soportar el kit, así el anhídrido carbónico círculo por los sistemas de admisión y entrada de combustible por 20 segundos continuos; La duración de la toma de datos en esta máquina es de 40 segundos, tiempo que toma en alcanzar las 5800 r.p.m máximas indicadas por manual.

El descanso para el tiempo de inyección mencionado es de 4 minutos, por la corta duración de la prueba el circuito solo realizó una inyección automática que obtuvo los siguientes resultados mostrados en la figura.

Torque: 50.10 HP

Potencia: 42.38 Nm

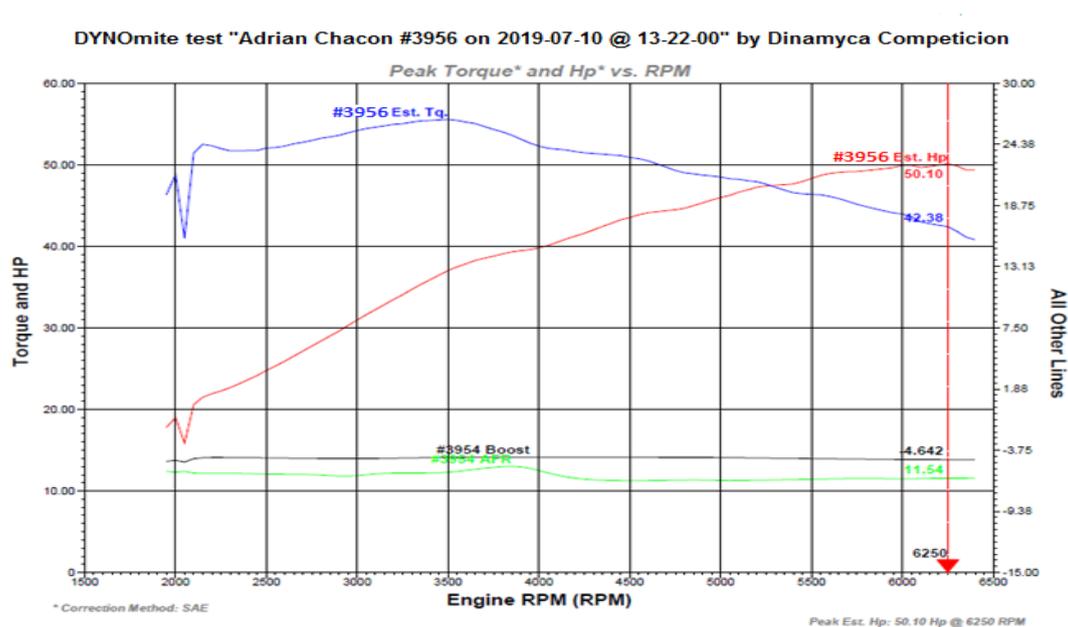


Figura 138. Torque y potencia del motor Suzuki G13 generados al inyectar CO₂ por 20 segundos

4.9. Comparación y Análisis de resultados.

En la comparación y análisis de resultados los datos de mayor relevancia se tomaron en cuenta, posterior a cada una de las pruebas y mediciones realizadas; Así se reflejan los resultados óptimos y menos favorables que dejó la inyección de anhídrido carbónico (en su inyección y prueba específica) frente al obtenido en condiciones estándar de funcionamiento del motor Suzuki G13.

4.9.1. Termográficos

Que obtuvieron un mayor resultado en 3 de los 9 puntos donde se realizaron las mediciones, se presenta una tabla con el promedio de las temperaturas en condiciones estándar tomadas en cada una de las mediciones, y los picos de temperatura generados tras la activación del kit.

Tabla 39.

Comparación de temperaturas en condiciones estándar y posterior a la inyección de anhídrido carbónico.

Comportamiento termográfico en los puntos de medición el kit de inyección de anhídrido carbónico			
Puntos de medición	Promedio Condiciones Estándar	Menor Incidencia al inyectar	Mayor Incidencia al inyectar
Reservorio CO2	16	INY 2 (10s-2m) P2	INY 3 (20s-4m) P3
		12.9	-18.16
Salida de Reservorio CO2	18.44	INY 1 (5s-1m) P1	INY 3 (20s-4m) P3
		17.65	-2.40
Entrada a Bulbo Metálico	24.94	INY 2 (10s-2m) P1	INY 3 (20s-4m) P2
		24.4	20.88
Solenoides	20.64	INY 2 (10s-2m) P2	INY 3 (20s-4m) P3
		19.425	13.03
Bulbo Metálico	18.59	INY 1 (5s-1m) P1	INY 3 (20s-4m) P1
		7.5	-8.16
Entrada a Carburador	26.25	INY 3 (15s-3m) P2	INY 1 (5s-1m) P3
		23.65	18.60
Salida de Bulbo Metálico	36.27	INY 2 (10s-2m) P2	INY 1 (5s-1m) P3
		36.25	23.40
Entrada a Encamisado	36.25	INY 3 (15s-3m) P1	INY 1 (5s-1m) P3

CONTINÚA →

		35.65	31.25
		INY 3 (15s-3m) P2	INY 2 (10 s-2m) P1
Salida de Encamisado	410.9	39.55	30,68

a. Reservorio de CO2

La figura 139 muestra el cambio drástico de temperatura del reservorio de CO₂, al no entrar en funcionamiento (estándar) se encuentra en 16 °C; Luego de cada inyección 2 (prueba 2) se evidencia un decremento de temperatura el menor es de 12.9 °C y el menor de -18.6 °C en la inyección 3 (prueba 2), siendo este el más bajo a lo largo de cada uno de los puntos de medición.

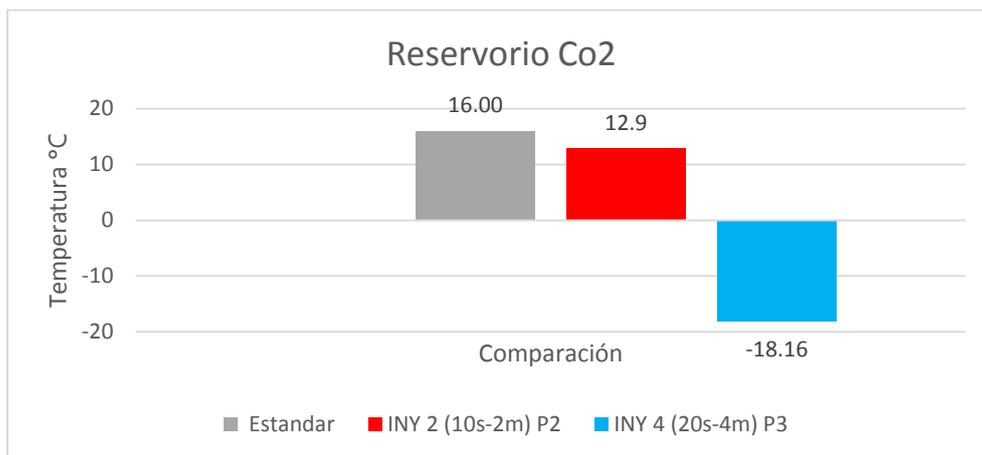


Figura 139. Comparación de Temperaturas Reservorio CO₂

b. Salida de reservorio de CO2

Al continuar el recorrido del sistema de inyección, la salida del reservorio de CO₂ se comporta de manera similar al anterior punto con valores de 18.44 °C, 17.65 °C y -2.40 °C que se obtuvieron registraron en condiciones estándar y en las inyecciones 1 (prueba 1) y 3 (prueba 3) respectivamente.

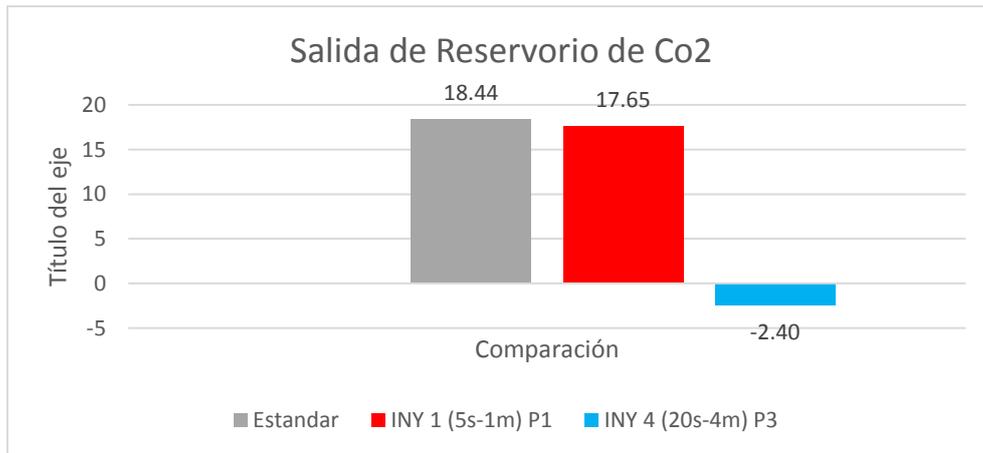


Figura 140. Comparación de temperaturas Salida de Reservoirio de CO2

c. Entrada a bulbo metálico

La cañería previa a la entrada del bulbo metálico se encuentra 24.94 °C al no funcionar el kit, luego existe una baja de temperatura en la inyección 2 (prueba 1) que llega hasta los 24.4 °C y finalmente se obtuvo 20.88 °C en la prueba e inyección 3.

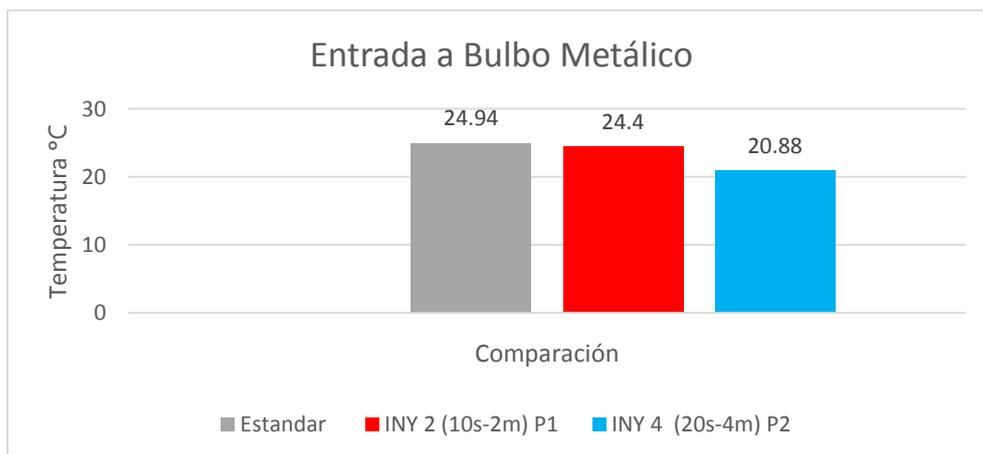


Figura 141. Comparación de Temperaturas en la Entrada del Bulbo Metálico

d. Solenoide

El solenoide o válvula de inyección registra a condiciones normales de funcionamiento del motor 20.64 °C, el decremento de temperatura que no obtuvo los mejores resultados fue de 19.43 °C tomado en la inyección 2 (prueba 2), por otra parte el mejor de todos indica 13.03 °C en la inyección y prueba 3.

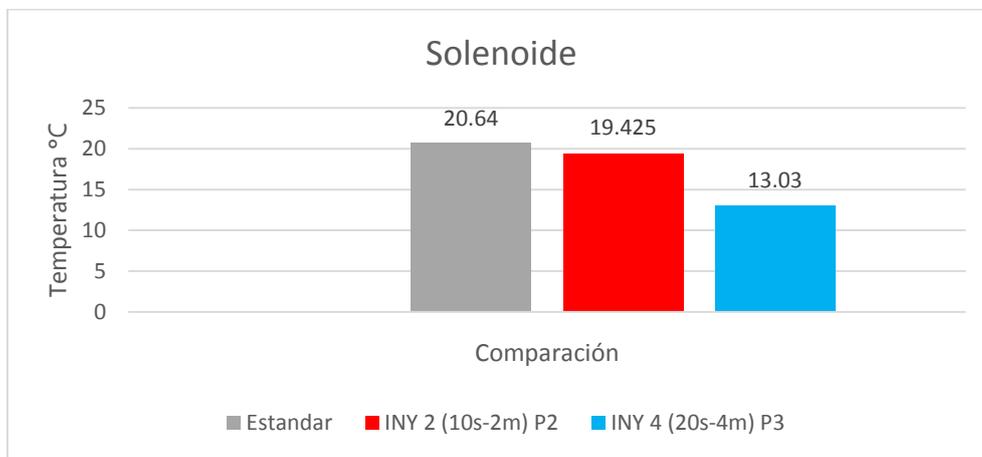


Figura 142. Comparación de Temperaturas en el Solenoide

e. Bulbo Metálico

Este intercambiador de calor se encuentra a 18.59 °C cuando no recorre anhídrido carbónico por él, la inyección con menor incidencia de temperatura fue la de 5 segundos con descanso de 1 minuto en donde se llegó a 7.5 °C, -8.16 °C fue la temperatura más baja que se evidencio al inyectar 20 segundos de anhídrido carbónico y descansar 4 minutos.

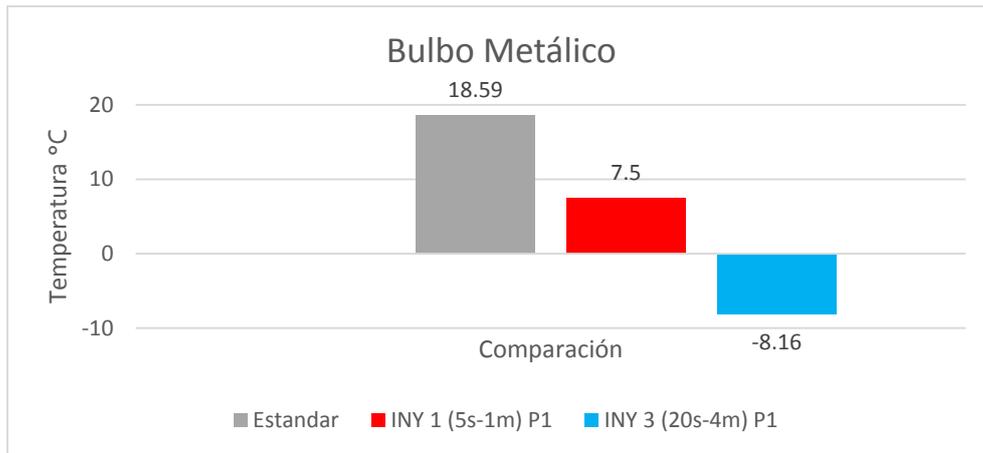


Figura 143. Comparación de Temperaturas en el Bulbo Metálico

f. Entrada al Carburador

Con una diferencia de 7.65 °C que se generó a condiciones estándar del motor 26.25 °C y la inyección 1 que en su primera prueba alcanzo los 18.60 °C, la inyección 3 en su segunda prueba apenas redujo su temperatura hasta los 23.65 °C.

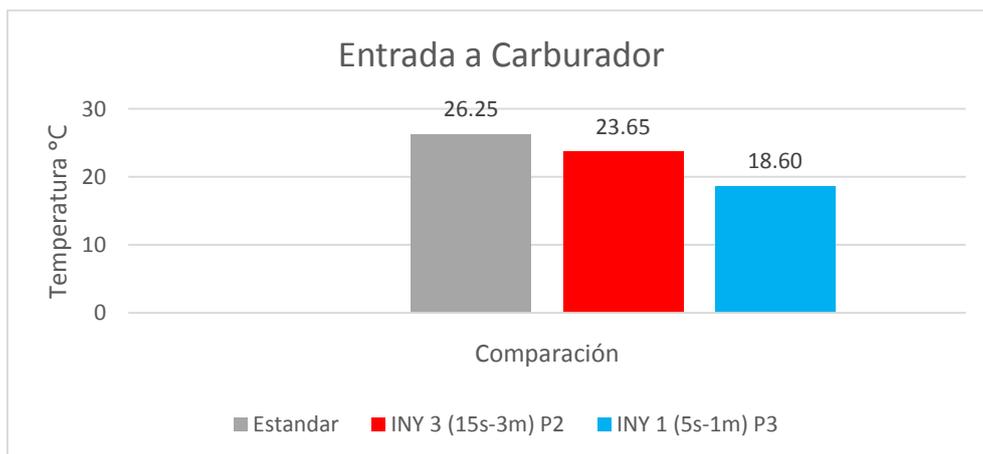


Figura 144. Comparación de Temperaturas en la Entrada al Carburador

g. Salida del Bulbo Metálico

Después de su paso por el primer intercambiador de calor, la cañería que se dirige hacia el segundo presenta una temperatura de 36.27 °C en su condición estándar, en la inyección 2 en la segunda prueba apenas se nota una reducción de 0.02 °C, por otra parte la primera inyección en su tercera prueba logra un descenso notable mayor a los 10 °C llegando a 23.40 °C.

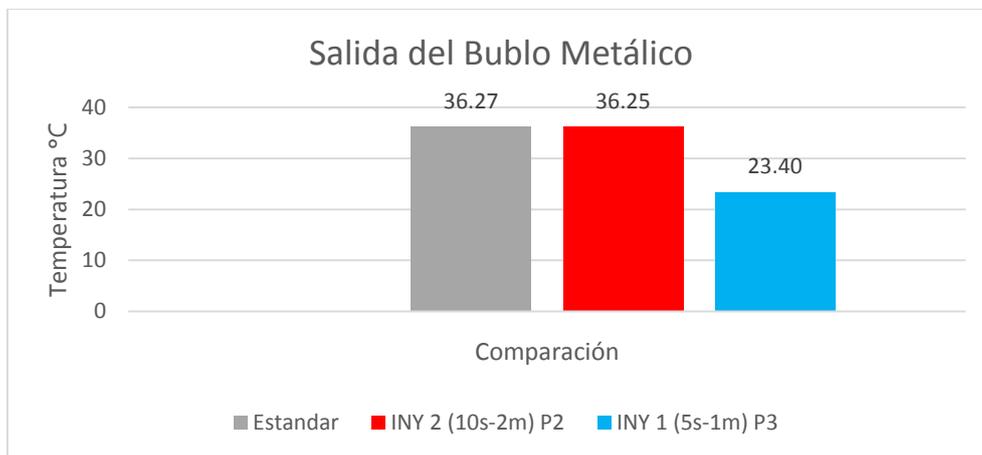


Figura 145. Comparación de Temperatura a la Salida del Bulbo Metálico

h. Entrada a Encamisado

La entrada de combustible hacia el segundo intercambiador de calor empieza con 36.25 °C, la inyección de 15 segundos de anhídrido carbónico en su prueba 1 hace que se rebaje 0.6 °C finalmente la inyección de 5 segundos e logra un decremento de 5 °C en su prueba 3.

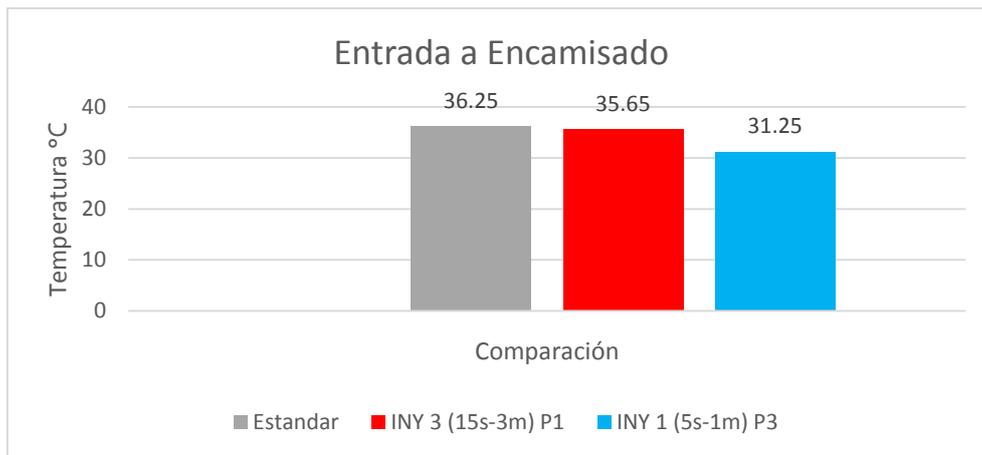


Figura 146. Comparación de Temperaturas a la Entrada del Encamisado

i. Salida de Encamisado

La salida del combustible luego de recorrer el encamisado metálico demuestra que entre la medición estándar 41.09 °C y la inyección de 10 segundos en su primera prueba 30.68 °C evidenciando un decremento de 10.41 °C entre ambas mediciones. La que menos incidencia género es la inyección 3 en su segunda prueba llegando a una temperatura de 39.55 °C.

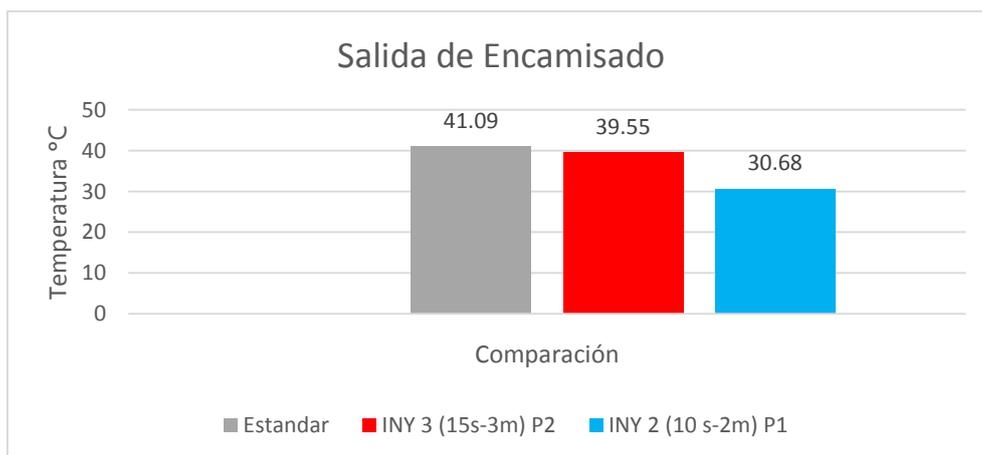


Figura 147. Comparación de Temperaturas a la Salida del Encamisado

4.9.2. Emisiones

Las cuales presentan cambios en sus valores en proporciones reducidas, se presentan los resultados obtenidos en la siguiente tabla donde se analizó 3 parámetros; Medición en condiciones estándar tras obtener un promedio de todos los datos tomados para este caso, la inyección que obtuvo un resultado con mayor incidencia de todas las pruebas realizadas con e kit de inyección y la que redujo al máximo su valor.

Tabla 40.

Emisiones de gases de escape en condiciones estándar y posterior a la inyección de anhídrido carbónico.

Comparación de Emisiones de gases de Escape			
Emisión	Promedio Condiciones Estándar	Menor Incidencia al inyectar	Mayor Incidencia al inyectar
Monóxido de Carbono	4.30	INY 1 (5s-1m) P2	INY 4 (20 s-4m) P3
		4.32	3.62
Dióxido de Carbono	11.77	INY 4 (20s-4m) P3	INY 1 (5 s-1m) P1
		12.57	12.07
Oxígeno	0.79	INY 1 (1s-1m) P1	INY 3 (15 s-3m) P3
		0.568	0.26
Hidrocarburos	215.38	INY 1 (5s-1m) P3	INY 4 (20 s-4m) P3
		327.167	199.83
Óxido de Nitrógeno	249.94	INY 2 (10s-2m) P3	INY 1 (5 s-1m) P3
		267.25	198.50
LAMBDA	0.91	INY 4 (20s-4m) P3	INY 1 (5 s-1m) P2
		0.911	0.88

a. Monóxido de Carbono

Con un promedio de 4.22 % de volumen a lo largo de sus mediciones en condiciones estándar, se evidencia que existe un incremento de 0.1 % en la inyección de 5 segundos en su prueba 1, por otra parte se reduce hasta 3.61 % de volumen al realizar la mayor descarga del kit en 20 segundos, reduciendo así 0.61 % de volumen entre las dos mediciones (estándar y de menor incidencia).

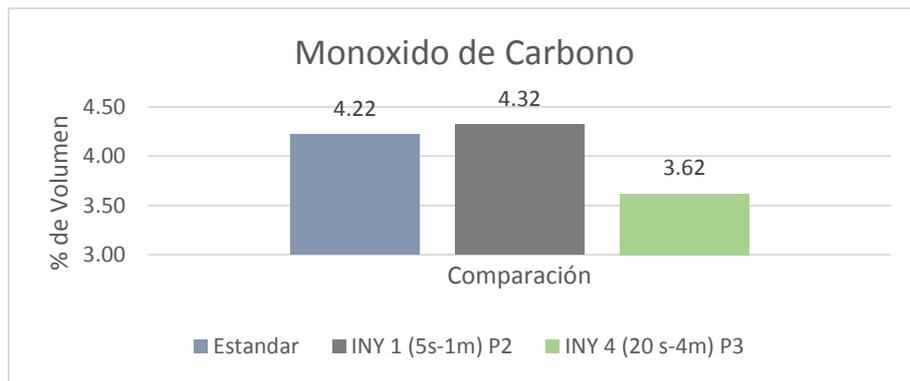


Figura 148. Comparación Monóxido de Carbono

b. Dióxido de Carbono

Presenta 11.77 % de volumen en condiciones estándar, todas las mediciones realizadas al inyectar CO₂ mejoran la combustión, al incrementar el porcentaje de este gas la mejor fue la de 12.57 % de volumen producto de la inyección 4 de 20 segundos de anhídrido carbónico, pese a que si hubo un incremento pero no tan notable como el anterior, la inyección 1 de 5 segundos registra un valor de 12.07 % de volumen, incrementado su eficiencia en 0.8 y 0.3 % de volumen respectivamente.

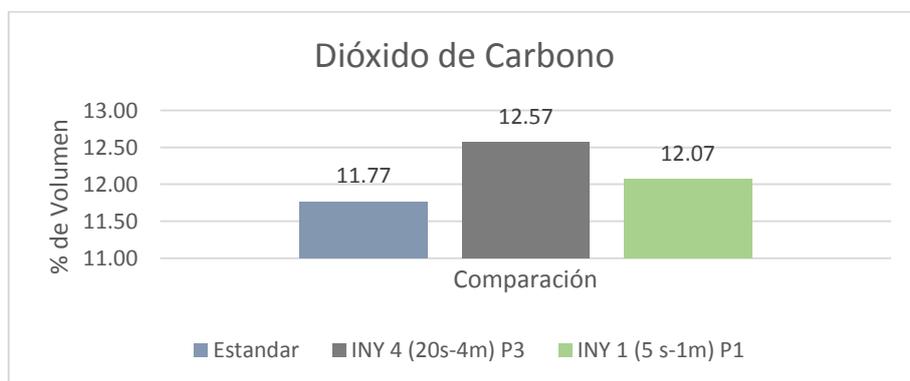


Figura 149. Comparación Dióxido de Carbono

c. Oxígenos

Se reducen al inyectar CO₂, esto refleja que tras el funcionamiento del kit, el proceso de combustión mejora así de 0.71 % de volumen en condiciones estándar del motor, se registró un valor de 0.568 % de volumen en la prueba 1 de la primera inyección, la más eficiente fue la tercera prueba de la inyección 3 que obtuvo 0.26 % de volumen.

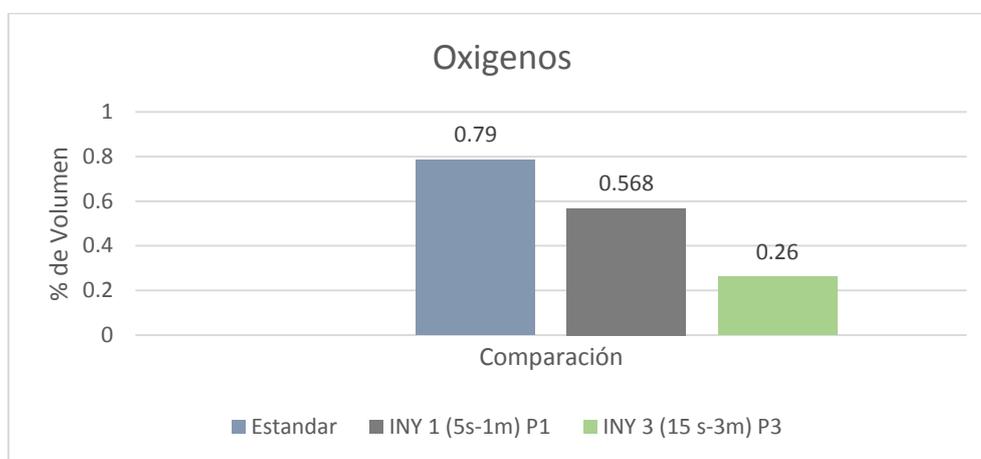


Figura 150. Comparación Oxígeno

d. Hidrocarburos

Se registraron valores de este gas dentro de lo permitido, se observa que al entrar en funcionamiento el kit, el proceso de combustión mejora al entrar más oxígeno al motor y reducir los niveles de emisión de hidrocarburos así se reduce de 215.38 a 199.83 ppm de volumen entre la medición a condiciones estándar y la que mejores resultados obtuvo (inyección 4 en su tercera prueba), sin sobrepasar los niveles permitidos, la tercera prueba de la inyección 1 incrementa su valor con respecto a la realizada sin funcionamiento del kit, así se evidencio un valor de 327.167 ppm de volumen.

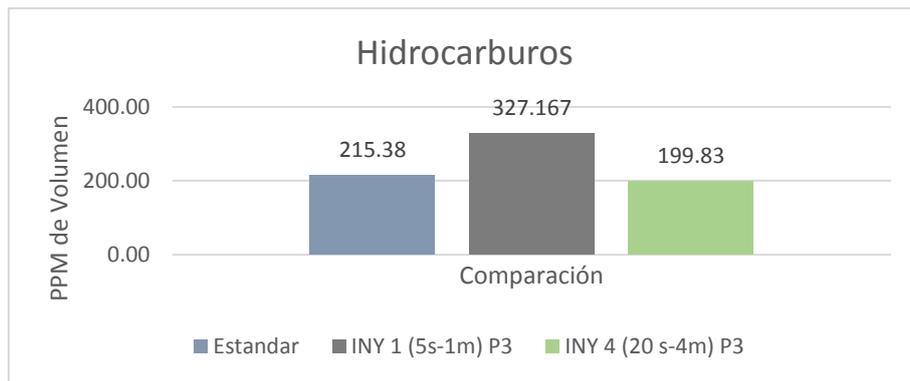


Figura 151. Comparación Hidrocarburos

e. Óxidos de Nitrógeno

Producto de las temperaturas generadas en la cámara de combustión, se observa que si se genera una reducción entre la medición a condiciones estándar 249.94 ppm de volumen y la prueba 3 de la primera inyección 198.50 ppm de volumen, por otra parte la inyección 2 en su tercera prueba muestra un valor de incremento con 267.25 ppm de volumen se redujo 51.44 ppm de volumen en la más eficaz y 17.31 ppm de volumen aumentaron en la prueba que no obtuvo resultados positivos.

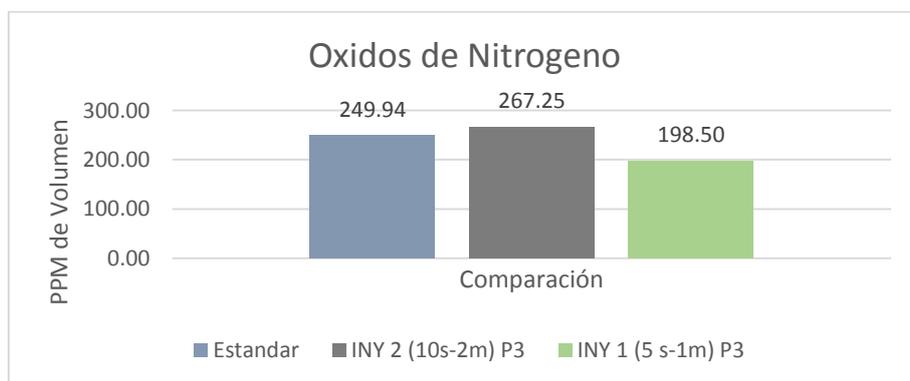


Figura 152. Comparación Óxido de Nitrógeno

f. Lambda

LAMBDA permanece con valores coherentes en todas las mediciones que indican mezclas ricas, sin embargo existe una disminución de valores que evidencia el incremento de mezcla rica en el motor, de 0.91 en condiciones estándar se mantiene e incluso aumenta en 0.001, la segunda prueba de la inyección de 5 segundos registra un decremento más notable de 0.03 con respecto a la condición estándar dando a notar que la mezcla del motor es rica.

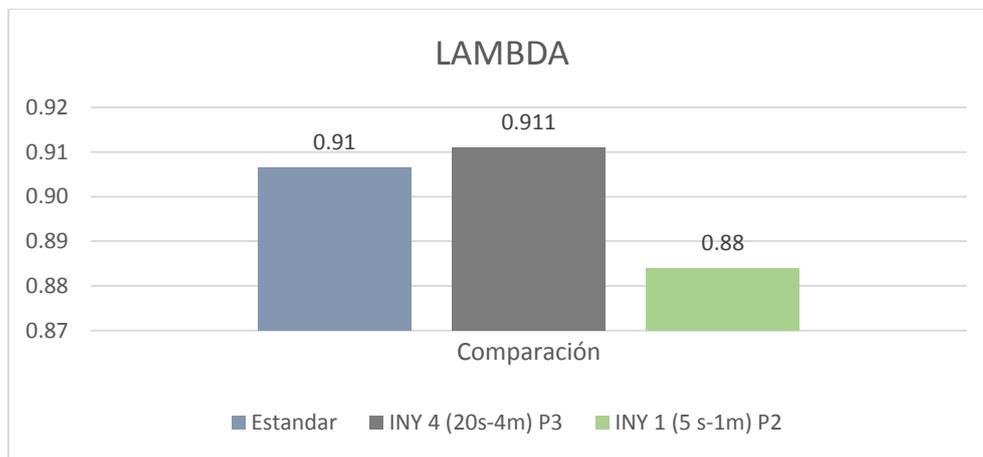


Figura 153. Comparación factor LAMBDA

4.9.3. Torque y Potencia

Prueba realizada en condiciones normales de funcionamiento del motor y a la mayor capacidad de descarga y funcionamiento del kit, se puede evidenciar que existe un incremento de valores de torque y potencia, de los 47.41 HP que llegó a 5800 r.p.m el motor, inyectando anhídrido carbónico por un lapso de tiempo de 20 segundos, 49.25 HP se registraron al mismo régimen de giro, incrementando la potencia del motor en 1.84 HP, la potencia por su parte se incrementó de 42.46 a 44.85 Nm, De esta forma se pudo comprobar la eficiencia del kit que

logra un incremento de estos valores.

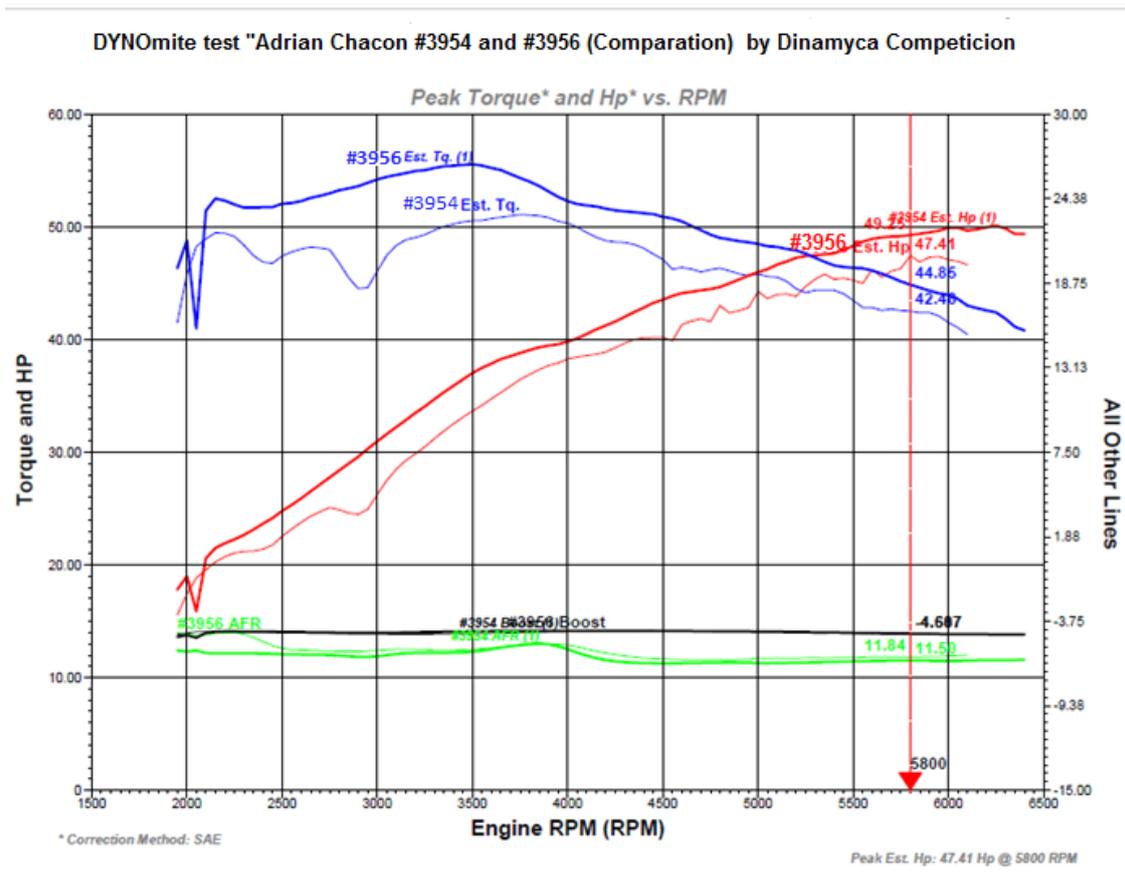


Figura 154. Comparación Prueba de Torque y Potencia

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO

El proyecto de titulación análisis de la incidencia térmica aplicando anhídrido carbónico en el sistema de admisión del motor Suzuki g13 contempla para su ejecución varios parámetros; Técnicos, administrativos y financieros mediante los cuales se asegura la factibilidad para realizarlo, sin incurrir a errores que puedan reflejarse en problemas de alguna índole mientras se plasma este estudio.

5.1. Factibilidad del Proyecto

Los recursos humanos, materiales, financieros y tecnológicos fueron considerados para determinar la viabilidad del proyecto previo a su ejecución, se consideró un orden prioritario con la finalidad de no presentar ningún inconveniente a lo largo de todo el proyecto.

5.1.1. Recurso Humano

Responsable de aportar con su conocimiento e ingenio a lo largo de todo el proyecto, se detalla en la tabla 41.

Tabla 41.*Talento Humano*

#	Nombre	Función
1	Wilson Adrián Chacón Molina	Investigador
2	Edwin Ricardo Ramos Reinoso	Investigador
3	Leónidas Antonio Quiroz Erazo	Director del proyecto de titulación Asesor técnico emisiones Asesor técnico termografía

5.1.2. Recursos Materiales

La utilización de todos los materiales detallados a continuación permitió que el proyecto se realice sin ninguna anomalía.

Tabla 42.*Recursos Materiales*

Numero	Material
1	Kit de inyección CRYO2
2	Bases y acoples
3	Módulo de control
4	Anhídrido Carbónico
5	Gasolina
6	Filtros

5.1.3. Recursos Financiero

El costo total del proyecto de investigación se realizó por autofinanciamiento de los investigadores, se cubrió el costo total del mismo, este asciende a un monto de 2677.72 USD.

a. Materiales y Equipos

Tabla 43.

Implementación del sistema de inyección de Anhídrido Carbónico

Número	Material	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Total \$
1	Reservorio de CO2	1	272.82	372.82
2	Cañerías	2	26.02	82.04
3	Bulbo Metálico	1	197.65	250.36
4	Encamisado Metálico	1	389.61	489.61
5	Solenoides	1	93.95	153.95
6	Bases y Acoples	1	27.15	47.15
7	Abrazaderas de sujeción	2	24.86	49.72
8	Pulsador de activación	1	15.66	35.66
9	Interruptor de acelerador	1	37.16	37.16
TOTAL				1518.47

Tabla 44.

Implementación del módulo electrónico de control

Número	Material	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Total \$
1	Microcontrolador Atmega 328 p	3	11	33
2	Cristal 16 Mhz	1	1.50	1.50
3	Condensador 22p	2	0.80	1.60
4	Condensador 10 u	2	0.30	0.60
5	LCD + 12C	1	15.00	15.00
6	Pulsadores NA	5	0.50	2.50
7	Resistencias ¼ W	10	0.15	1.50
8	Regulador LM7805	1	1.20	1.20
9	Cable DB9 (RS232)	2	9.00	18.00
10	Conector DB9 (RS232)	2	2.50	5.00
11	Mosfet IRF 540	1	3.75	3.75
12	Opto 4N25	1	1.20	1.20
13	Diodo 1N4148	1	0.80	0.80
14	Amplificador LM358	1	1.60	1.60
18	Misceláneos	1	25.00	25.00
TOTAL				112.25

Tabla 45.

Tratamiento del Anhídrido Carbónico

Número	Material	Cantidad de Recargas	Precio Unitario \$	Precio Total \$
1	Reservorio de Anhídrido carbónico de 10 lbs	6	12	72
2	Reservorio de Anhídrido carbónico de 20 lbs	4	15	60
Total				132

b. Recursos Tecnológicos

Detallados en la siguiente tabla, se presentan los recursos tecnológicos utilizados para la ejecución del proyecto.

Tabla 46.

Recursos Tecnológicos

Numero	Software	Descripción/Usó
1	Software Libre	Modelado Intercambiadores de calor y sus bases de sujeción
2	Programación	Diseño del módulo de control
3	Impresión de Circuitos	Diseño de la placa de módulo de control
4	Libre	Programación del Microcontrolador Atmega 328 p
5	Ofimática	Tabulación y Escrito

Tabla 47.

Equipos Tecnológicos

Número	Material	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Total \$
1	Analizador de Gases Brain Bee AGS-688	7 Días	40	280
2	Cámara termográfica FLUKE TiS60	4 Días	120	480
3	Tacómetro de rpm y temperatura – mgt-300 evo	7 Días	15	105
4	Dinamómetro de Rodillos DYNO-MAX “PRO”	1 Día	50	50
Total				915

CONCLUSIONES

- Se implementó un método de tratamiento pre combustión y control térmico mediante la inyección de anhídrido carbónico en el ducto de admisión y cañería principal de combustible controlada por un módulo electrónico.
- Los tiempos de inyección y descanso del anhídrido carbónico, se establecieron tomando en cuenta parámetros de funcionamiento de los componentes del kit, duración de la temperatura en los puntos críticos (bulbo y encamisado metálico) y comportamiento de emisiones en el analizador de gases de escape en prueba continua.
- Tras establecer un protocolo de pruebas para la toma de imágenes termografías, pruebas desempeño del motor, emisiones de gases de escape; Se analizó la incidencia térmica, mecánica y de emisiones de forma gráfica, estadística y matemática.
- La inyección controlada de anhídrido carbónico con un periodo de duración de 20 segundos incremento el desempeño del motor del vehículo de prueba al elevar el torque en 1.84 HP (de 47.41 a 49.25 HP) y la potencia en 2.39 Nm (de 42.46 a 44.85).
- El bulbo metálico alcanzo una temperatura de $-8.16\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la inyección 3 (20 segundos de duración, 4 minutos de descanso) siendo la más eficiente en este punto en relación al promedio de temperaturas en condiciones estándar que registró una medida de $18.59\text{ }^{\circ}\text{C}$, decreciendo porcentualmente en 143%.
- Las inyecciones 1 (prueba 3) y 2 (prueba 1) generaron mayor incidencia en la reducción de temperatura a la entrada y salida del encamisado integrado a la cañería de combustible al variar de 36.25 a $31.25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de 41.09 a $30.68\text{ }^{\circ}\text{C}$ en cada uno de los casos, logrando un decremento porcentual de 16.16 % y 33.93% respectivamente.
- Al inyectar 20 segundos de anhídrido carbónico el monóxido de carbono disminuye

en 0.61 % de volumen, los hidrocarburos se reducen en 15.55 ppm, lambda mantiene su valor en 0.91 con respecto a los valores que se obtuvieron en condiciones estándar de funcionamiento del vehículo de prueba.

- Todas las inyecciones de dióxido de carbono mejoraron la combustión, la más notoria fue la inyección de 20 segundos incremento en 0.8 % de volumen (de 11.77 a 12.57% de volumen), la de menor incidencia únicamente 0.3% (de 11.77 a 12.57% de volumen).

RECOMENDACIONES

- Desarrollar un sistema de recirculación del anhídrido carbónico que permita la optimización del gas refrigerante y mejore la autonomía del depósito.
- Investigar la incidencia térmica, mecánica y de emisiones en un motor de encendido por compresión donde además de estos parámetros se podría analizar que ocurre con el nivel de opacidad del motor tras implementar este tratamiento térmico.
- Analizar la posibilidad de utilizar un gas refrigerante distinto al anhídrido carbónico a fin de observar si genera mejores resultados que los presentados en esta investigación.
- Mantener el depósito de anhídrido carbónico a temperatura ambiente y sin exposiciones directas al sol por espacios prolongados de tiempo.
- Verificar en el mercado la existencia de un solenoide o válvula de paso de mejores prestaciones que pueda permanecer abierta más de 20 segundos sin sufrir ningún desperfecto.
- Variar la geometría del bulbo metálico y la distancia entre los puntos de entrada y salida del encamisado en un software de simulación para observar si existe un cambio en los resultados obtenidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abelló Linde, S.A. (27 de Septiembre de 2018). *Consejo de Seguridad. 12 - Trabajando con Dióxido de carbono CO2*. Recuperado el 07 de Mayo de 2019, de The Linde Group: https://www.abellolinde.es/en/images/CS_12_%20v%2012%20%28trabajando%20con%20di%C3%B3xido%20de%20carbono%29_tcm302-25938.pdf
- Asad, U., Kumar, R., Zheng, M., & Tjong, J. (2015). Ethanol-fueled low temperature combustion: A pathway to clean and efficient diesel engine cycles. *Applied Energy*, 157(C), 838-850.
- Atmel Corporation. (2009). *ATmega48P/88P/168P/328P*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2019, de 8161D-AVR-10/09: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/313656/ATMEL/ATmega328P.html>
- Behr Hella Service. (2018). *Componentes para el nuevo refrigerante R744/CO2*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2019, de Behr Hella Service: https://www.hella.com/truck/assets/media_global/1423_KI_Refrigerant_R744_BHS_ES.pdf
- Bosch. (2000). *Técnica de los gases de escape. Control del motor para motores de gasolina*. Recuperado el 01 de Octubre de 2019, de Técnica de los gases de escape para motores a gasolina: <https://es.scribd.com/document/238693249/Bosch-Tecnica-de-Gases-de-Escape>
- Bosch GmbH, R. (2003). *Técnica de los gases de escape para motores de gasolina* (Segunda ed.). Stuttgart. Recuperado el 7 de Mayo de 2019, de <https://books.google.com.ec/books?id=zYyWO0lXQOAC&pg=PP2&lpg=PP2&dq=Tecnica+de+los+gases+de+Escape+para+motores+a+Gasolina+2003+GmbH&source=>

bl&ots=kwQgQDXgGX&sig=ACfU3U3VwRfkh2ha9CUMFJt4YmZ787kzZQ&hl=es
&sa=X&ved=2ahUKEwiEur-338vIAhXQxVvKHSJ0BmIQ6AEwAHoECA

Bozza, F., De Bellis, V., & Teodosio, L. (2016). Potentials of cooled EGR and water injection for knock resistance and fuel consumption improvements of gasoline engines. *Applied Energy*, 169(C), 112-125.

Carnicer, J. M. (2008). Contaminacion Atmosférica. En *Módulo I: Contaminación Ambiental* (págs. 1-174). EOI Escuela de Negocios. Recuperado el 30 de Septiembre de 2019, de <https://www.eoi.es/es/file/18607/download?token=DQeBhR8t>

Cortés Marín, E. A., Álvarez Mejía, F., & González Sánchez, H. A. (2007). Máquinas autopropulsadas: guía práctica. En *Anexo 5: Sistema de Admisión y Escape* (págs. 283-344). Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 10 de Septiembre de 2019, de http://bdigital.unal.edu.co/10472/25/3517413.2007_5.pdf

Design Engineering Inc. (2019). *Spare Tank*. Recuperado el 07 de Mayo de 2019, de <http://designengineering.com/spare-tank/>

Fernández Ríos, P., & Araya Araya , J. (Junio de 2012). Tecnologías de reducción de Emisicones de NOx. *Better Technologies*(32), 1-7. Recuperado el 05 de Octubre de 2019, de <https://www.better.cl/wp-content/uploads/2018/05/Tecnolog%C3%ADas-de-Reduccion-de-Emisiones-de-NOx-13-de-julio-de-2012.pdf>

Floyd, T. L. (2008). *Dispositivos Electrónicos* (Octava ed.). (R. N. Salas, Trad.) México D.F.: Pearson Educación. Recuperado el 06 de Junio de 2019, de <https://profejuandotcom.files.wordpress.com/2017/02/dispositivos-electronicos-floyd-8edi.pdf>

Fluke Corporation. (1995-2019). *Cámara de infrarrojos Fluke TiS60*. Recuperado el 30 de Octubre de 2019, de Fluke. Keeping your world up and running:

<https://www.fluke.com/es-es/producto/camara-termografica/tis60>

- Gillieri, S. (1990). *Manual de Electrónica del Automóvil* (Primera ed.). Barcelona: CEAC.
- GlobalTech. (2019). *Analizador de Gases Brain Bee – Modelo AGS-688*. Recuperado el 07 de Junio de 2019, de Global Tech Equipos Automotrices: <https://globaltech-car.com/producto/analizador-de-gases-brain-bee-modelo-ags-688/>
- Hinlopen, H. (1992). *Electrónica Aplicada al Automóvil* (Vol. III). (J. A. Pinilla, Trad.) Madrid: Paraninfo.
- Indura. (2003). *Especificaciones de gases*. Argentina: ISO 9001. UKAS Environmental Management.
- INEC. (2014). *Anuario de estadística de transporte*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censos. Recuperado el 01 de Septiembre de 2019, de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/Publicaciones/Anuario_de_Estad_de_Transporte_2014.pdf
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (18 de Septiembre de 2002). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204:2002. *Gestión ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina*. Quito, Ecuador. Recuperado el 10 de Septiembre de 2019, de <https://www.ant.gob.ec/index.php/regulacion/normas-y-reglamentos-inen/emisiones-contaminantes-y-ruido/file/161-norma-tecnica-ecuatoriana-nte-inen-2-204-2002>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (04 de Enero de 1974). Norma Técnica Ecuatoriana INEN 117. CDU: 621.643.414 MC 02.07-401. *Roscas asa para tuberías y accesorios. Especificaciones*. Quito, Ecuador. Recuperado el 08 de Mayo de 2019, de <https://181.112.149.204/buzon/normas/117.pdf>

- Kreith, F., Manglik, R. M., & Bohn, M. S. (2012). *Principios de transferencia de calor*. México D.F.: Cengage Learning. Recuperado el 30 de Septiembre de 2019, de <https://books.google.com.ec/books?id=vcPwmwEACAAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Linde. (2019). *R744 (Dióxido de carbono)*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2019, de Gases Industriales. España: https://www.abellolinde.es/es/products_and_supply/refrigerants/natural_refrigerants/r744_carbon_dioxide/index.html
- Mahle. (2019). *AGS-688 Emission*. Recuperado el 30 de Octubre de 2019, de Brain Bee Workshop Solutions: <https://brainbee.mahle.com/es/lineas-de-productos/emission/emission-ags-688/>
- Maza, B. (2 de Marzo de 2017). *Transferencia de Calor*. Recuperado el 2 de Mayo de 2019, de SlideShare: <https://www.slideshare.net/BreymerM/transferencia-de-calor-72754391>
- Mingrui, W., Thanh Sa, N., Fiiifi Turkson, R., Jinping, L., & Guanlun, G. (2015). Water injection for higher engine performance and lower emissions. *Journal of the Energy Institute*, 1-15.
- Nik, R. A., Nafis, S. S., Rizalman, M., Aman, M., Ihsan, M., & Aminuddin, Z. (June de 2014). Effects of air intake pressure on the engine performance, fuel economy and exhaust emissions of a small gasoline engine. *Abdullah et al. / Journal of Mechanical Engineering and Sciences (JMES)*, 6, 949-958. Recuperado el 05 de Septiembre de 2019, de http://jmes.ump.edu.my/images/Volume_6/21_Abdullah%20et%20al.pdf
- Nikare Distribución SL. (2019). *Mangueras Corrugadas Flexibles de Acero Inoxidable*. Recuperado el 08 de Mayo de 2019, de Nikare, tubo flexible inoxidable: <https://www.tubosflexiblesinox.com/productos/tubo-flexible-de-acero->

inoxidable/?fbclid=IwAR3neXHH4aXEuCi-

VzXoAuL51ucoPDmNsnvdsdUdJCQzFp3-mH9SBV24wx8

Royo Abuín, J. M. (2007). *Regresión lineal múltiple*. Recuperado el 30 de Octubre de 2019, de Instituto de Economía y Geografía:

http://humanidades.cchs.csic.es/cchs/web_UAE/tutoriales/PDF/Regresion_lineal_multiple_3.pdf

SEGOB Secretaría de Gobernación. (07 de Junio de 2016). *NORMA Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-167-SEMARNAT-2016*. Recuperado el 20 de Septiembre de

2019, de Diario Oficial de la Federación:
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5440157&fecha=07/06/2016

Senner, A. (1994). *Principios de electrotecnia*. Barcelona: Reverté S.A. Recuperado el 7 de

Junio de 2019, de <https://books.google.es/books?id=PW7jBPNU8hwC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Torrelavega. (2019). *Ajuste por mínimos cuadrados. Física I*. Recuperado el 30 de Octubre de 2019, de

<https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1593/course/section/2045/Ajuste%20por%20minimos%20cuadrados.pdf>

Worsztynowicz, B., Uhryński, A., Borkowski, B., & Pluta, M. (2017). The analysis of thermal state of catalytic converter depending on fuel supply and engine load using thermo-vision. *Combustion Engines*, 170(3), 30-36. Recuperado el 15 de Septiembre

de 2019, de https://pdfs.semanticscholar.org/ddaf/8d0f52d5ad7c74258ba293f8b06595581ac1.pdf?_ga=2.169638755.311940739.1572669720-737823202.1571330553

Xiamen Amotec Display Co., Ltd. (29 de Octubre de 2008). *Specifications of LCD Module*.

Recuperado el 08 de Mayo de 2019, de Module No: ADM1602K-NSR-FBS/3.3V:

<https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/ADM1602K-NSR-FBS-3.3v.pdf>

Yunus A., C. (2007). *Transferencia de Calor y Masa* (Tercera ed.). México D.F.: Mc Graw

Hill. Recuperado el 2 de Mayo de 2019, de [https://www.u-](https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi_blog/r/Transferencia_de_)

[cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi_blog/r/Transferencia_de_](https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi_blog/r/Transferencia_de_)

[Calor_y_Masa_-_Yunus_Cengel_-_Tercera_Edicion.pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi_blog/r/Transferencia_de_Calor_y_Masa_-_Yunus_Cengel_-_Tercera_Edicion.pdf)

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo de investigación fue desarrollado por los señores CHACÓN MOLINA, WILSON ADRIÁN y RAMOS REINOSO, EDWIN RICARDO.

En la ciudad de Latacunga a los 28 días del mes de Noviembre 2019.

Aprobado por:



Ing. Leónidas Quiroz Erazo MSc
DIRECTOR DEL PROYECTO



Ing. Danilo Zambrano León
DIRECTOR DE CARRERA



Abg. Darwin Albán
SECRETARIO ACADÉMICO